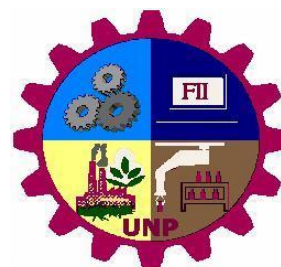


UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA



TESIS

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA
CLASIFICAR EL LIMON SUTIL (*citrus aurantifolia*) DE
ACUERDO AL CALIBRE”**

Presentada por:
Bach. César Hernán Alvarado Acha

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
ING. MECATRÓNICO**

Línea de Investigación:
Informática, Electrónica y Telecomunicaciones

Sublínea de Investigación:
Automatización y Control

Piura, Perú

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA



TESIS

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA
CLASIFICAR EL LIMÓN SUTIL (citrus aurantifolia) DE
ACUERDO AL CALIBRE”**

Línea de Investigación:
Informática, Electrónica y Telecomunicaciones

Sublínea de Investigación:
Automatización y Control

ASESOR :


Msc. MADRID GUEVARA, FERNANDO

TESISTA :


BACH. ALVARADO ACHA, CESAR HERNAN.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA



TESIS

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA
CLASIFICAR EL LIMON SUTIL (citrus aurantifolia) DE
ACUERDO AL CALIBRE”**

Línea de Investigación:
Informática, Electrónica y Telecomunicaciones

Sublínea de Investigación:
Automatización y Control

Msc. ROXANI KEEWONG ZAPATA
Presidente Jurado Calificador

ING. JORGE F. MA SAN ZAPATA
Secretario de Jurado Calificador

ING. LUIS A. CALDERON PINEDO
Vocal de Jurado Calificador

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo : **CESAR HERNAN ALVARADO ACHA** identificado con CU/DNI N° **76723636**
, Bachiller de la **ESCUELA PROFESIONAL DE ING. MECATRÓNICA** , de la
facultad de **ING. INDUSTRIAL** y domiciliado en **SR DE LOS MILAGROS A-30** , del
distrito de **PIURA** , provincia de **PIURA** , departamento de **PIURA** ,

Celular: **970170099**

Email: **calvarado.chaa@gmail.com**

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no
siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el
Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto
a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código penal concordante con el
Art. 32° de la Ley N°27444, y Ley del procedimiento Administrativo General y las
Normas Legales de Protección a los derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura 14 de enero del 2020



DNI N°: 76723636



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DECANATO



ACTA DE EVALUACIÓN Y SUSTENTACIÓN DE TESIS

Expediente N° 1458 / 2017

Los miembros del Jurado Calificador Ad-Hoc de la Sustentación de Tesis nombrado con Resolución N° 495-CF-FI-UNP-17 de fecha 28/06/2017 que suscriben, se reunieron en acto público en la sala de exposiciones de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Piura, el día 13 de Enero del 2020 a las 10:00 am, para evaluar la defensa de la Tesis titulada "DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA CLASIFICAR EL LIMÓN SUTIL (*Citrus aurantifolia*) DE ACUERDO AL CÁLIBRE", presentada por el Bachiller CÉSAR HERNÁN ALVARADO ACHA y asesorado por el MSc. FERNANDO MADRID GUEVARA.

Después de haber calificado el Informe Final de la Tesis, escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas por el Jurado, se le declara APROBADA para optar el Título de INGENIERO MECATRONICO con el puntaje de 68 que corresponde al calificativo de BUENO.

Calificación	Jurado			Puntaje Promedio
	Presidente	Secretario	Vocal	
Documento (Max 60 puntos)	39	39	39	39
Sustentación (Max 40 puntos)	29	29	29	29
PUNTAJE TOTAL				68

En consecuencia, el sustentante queda en condición de recibir el Título Profesional que se indica, conferido por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura de conformidad con las Normas Eslatutarias y la Ley Universitaria en vigencia.

Ciudad Universitaria, 13 de Enero del 2020

MSc. ROXAM KEEWONG ZAPATA	MBA. JORGE FLORENTINO MA SAN ZAPATA	Ing. LUIS ALBERTO CALDERÓN PINEDO
PRESIDENTE	SECRETARIO	VOCAL

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y la sabiduría, además permitirme vivir cada día lleno de bendiciones.

A mi familia por siempre apoyarme en los malos y buenos momentos.

A mi asesor de tesis, mi futura esposa y mis amigos por motivarme a salir adelante brindándome su confianza y apoyo.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO	vi
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA	2
1.1 Descripción de la realidad problemática	2
1.2 Justificación e importancia de la investigación	2
1.3 Objetivos	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes de la investigación	4
2.2 Bases teóricas	6
2.3 Hipótesis	38
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	40
3.1 Enfoque y diseño	40
3.2 Sujetos de la investigación	40
3.3 Métodos y procedimientos	41
3.4 Técnicas e instrumentos	66
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.1 Resultados	68
4.2 Discusión de los resultados	71
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	75

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación de limón.....	29
Tabla 2.2 Operacionalización de variables.....	39
Tabla 3.1 Cantidad de señales	54
Tabla 3.2 Consumo de corriente para fuente de 5V	57
Tabla 3.3 Consumo de corriente para fuente de 24V	58
Tabla 3.4 Cálculo y selección del interruptor general	58
Tabla 4.1 Elementos principales de la máquina automática.....	68
Tabla 4.2 Esquemáticos principales de la máquina automática	70
Tabla 4.3 Diagramas del algoritmo de control y procesamiento de la imagen	71

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Sistema de visión artificial	6
Figura 2.2 Inspección artificial y humana	7
Figura 2.3 Tipos de inspección.....	8
Figura 2.4 Inspección visual automática	10
Figura 2.5 Elementos físicos de un sistema de vision artificial	12
Figura 2.6 Modulo de proceso.....	13
Figura 2.7 Tipos de iluminación.....	15
Figura 2.8 Características de una cámara CCD.....	16
Figura 2.9 Barrido progresivo	17
Figura 2.10 Matriz de una imagen.....	18
Figura 2.11 Procesamiento digital de una imagen.....	20
Figura 2.12 Adquisición de imágenes	21
Figura 2.13 Segmentación de contorno	23
Figura 2.14 Segmentación de bordes y contornos.....	23
Figura 2.15 Transportador de banda.....	32
Figura 2.16 Transportadores de banda plástica modular	33
Figura 2.17 Transportadores de banda tabletop.....	34
Figura 2.18 Transportadores de banda	34
Figura 2.19 Transportadores de banda horizontal	36
Figura 3.1 Maquina clasificadora automática de limón sutil.....	42
Figura 3.2 Tolva de recepción	43
Figura 3.3 Soporte principal	43
Figura 3.4 Sistema de transmisión de potencia (Faja de rodillos).....	44
Figura 3.5 Sistema de transmisión de potencia (cadena).....	45
Figura 3.6 Sistema de transmisión de potencia (Motor).....	47
Figura 3.7 Sistema de transmisión de potencia (Soporte)	46
Figura 3.8 Sistema de transmisión de potencia (Piñon)	47
Figura 3.9 Sistema de transmisión de potencia (Eje)	49
Figura 3.10 Soporte del procesamiento de imagen.....	50
Figura 3.11 Sistema de actuación de máquina (Bisagras)	51
Figura 3.12 Sistema de actuación de máquina (Soporte de electroimán).....	51
Figura 3.13 Clasificación de limón calibre A.....	52
Figura 3.14 Clasificación de limón calibre B, C y D	52
Figura 3.15 Placa arduino	54
Figura 3.16 Cámara	54
Figura 3.17 Esquema de fuerza de la máquina.....	59
Figura 3.18 Variador de velocidad	60
Figura 3.19 Arranque de la máquina	61
Figura 3.20 Actuación de la máquina.....	62
Figura 3.21 Control de salida de arduino	63

Figura 3.22 Diagrama de flujo.....	64
Figura 3.23 Panel frontal del algoritmo.....	65
Figura 3.24 Diagrama de bloques del algoritmo	66

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: PLANOS DEL DISEÑO MECÁNICO	1
ANEXO 2: PLANOS DEL DISEÑO ELECTRICO-ELECTRÓNICO	16
ANEXO 3: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ALGORITMO DE CONTROL.....	21
ANEXO 4: PANEL DEL ALGORITMO DE CONTROL.....	22
ANEXO 5: HOJA DE CATÁLAGO MARTÍN	25
ANEXO 6: HOJA DE CATALAGO SKF	26

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo general el diseño de una máquina automática haciendo uso de la visión artificial. Teniendo como caso particular clasificar de manera artificial el limón sutil de acuerdo al calibre, es por esto que se realizó una comparación entre los diferentes tipos transmisión de potencia que podrían utilizarse en el diseño de la máquina automática. Se escogió el más adecuado que cumpla con los requisitos. Este trabajo de tesis puede servir de guía para el diseño de máquinas automáticas orientada a clasificación de productos por tamaño. A lo largo de esta tesis se diseñó, se calculó y se seleccionó los diferentes elementos que intervienen en el funcionamiento de la máquina automática. Finalmente se concluyó que se logró hacer el diseño de la máquina.

Palabras clave: Visión artificial, calibre y clasificación.

ABSTRACT

This thesis work had as a general objective the desing of an automatic machine using artificial vision. Taking as a particular case to classify artificially the subtle lemon according to the caliber, this is why a comparison was made between the different types of power transmission that could be used in the design of our automatic machine. The most suitable one that meets the requirements. This thesis work can serve as a guide for the design of automatic machines oriented to the classification of products by size. Throughout this design, this calculates and this selects the different elements that intervene in the operation of the automatic machine. Finally it is concluded that machine design was achieved.

Keywords: Artificial vision, caliber y classification.

INTRODUCCIÓN.

En el Perú existen diversas empresas dedicadas a la exportación de limón sutil fresco, en tanto Piura no se queda atrás ya que existen algunas empresas que se dedican al mismo rubro teniendo como sistema productivo empaque de limón sutil fresco y derivados, pero el problema radica en la tasa de error de clasificación asociada a precisión y cansancio de los operadores.

Esto se justifica por el alto costo de la inspección humana que ha hecho promover y desarrollar sistemas capaces de resolver las tareas de forma automática. Así como los sistemas de visión artificial, permiten una alta fiabilidad en la inspección, reduciendo las reclamaciones que puedan originarse por una incorrecta calidad en el producto, así también, el costo que representa una entrega de producto en malas condiciones.

La clasificación del limón por tamaño juega un papel muy importante en la calidad de este, es por ello que se diseñó una máquina automática para clasificar el limón de acuerdo al calibre, así mismo se reducirá la intervención de operadores en el proceso.

El desarrollo del presente trabajo, para su mejor comprensión ha sido dividido en 4 capítulos los mismos que describimos a continuación:

En el Capítulo I se describe el problema, los objetivos y la justificación de la investigación. En el capítulo II se presenta el marco teórico, es decir los conceptos requeridos para abordar el desarrollo del proyecto. En el capítulo III se presenta el método y desarrollo de la investigación propiamente dicha, desde enfoque, diseño, nivel, hasta técnicas e instrumentos. En el capítulo IV se presentan los resultados de la investigación, es decir las características generales del diseño de la máquina automática para clasificar limones mostrando todas sus funcionalidades además de la discusión de resultados.

CAPÍTULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En la ciudad de Piura existen diferentes empresas exportadoras de limón sutil las cuales son entidades de capitales regionales que han logrado con esfuerzo y responsabilidad consolidarse en el mercado internacional exportando por varios años productos como limón fresco, cáscara deshidratada, aceite esencial y jugo concentrado de limón.

El proceso de clasificación de las empresas consiste en extraer de forma manual los limones que no cumplen las características para el proceso. El problema radica en la tasa de error de clasificación asociada a precisión y cansancio de los operadores.

Si la situación continúa en este proceso las empresas no podrán seguir creciendo debido a que al mercado le seguirá exigiendo que tengan una mejor calidad de su producto dado este proceso de clasificación manual.

Para esta situación hemos optado por diseñar una máquina automática para clasificar el limón sutil de acuerdo al calibre, basado en NORMA TÉCNICA PERUANA DEL LIMON (NTP 011.006 2005).

1.2 Justificación e importancia de la investigación

Actualmente la competencia del mercado globalizado, presiona a las industrias a producir más a un costo menos, con una alta calidad y flexibilidad. El control de calidad es uno de los aspectos más importantes en la competitividad industrial (Banks, 2008.)

El alto coste de la inspección humana ha hecho promover y desarrollar sistemas capaces de resolver las tareas de forma automática. Los sistemas de visión artificial, permiten una alta fiabilidad en la inspección, reduciendo las reclamaciones que puedan originarse por una incorrecta calidad en el producto, así también, el costo que representa una entrega de producto en malas condiciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar una máquina automática para clasificar el limón sutil de acuerdo al calibre.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar el diseño mecánico de la máquina automática
- Realizar el diseño eléctrico y electrónico de la máquina automática
- Generar el algoritmo de adquisición y procesamiento digital de imágenes

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Sobrado (2003), realizó la investigación sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot desarrollado para obtener el grado de magister en ingeniería de control y automatización, teniendo como objetivo general implementar un sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot aplicando técnicas de aprendizaje y clasificación automática usando como método de clasificación el esquema de una red neuronal llegando a la conclusión de que los procedimientos de clasificación usando redes neuronales proporcionan un buen rendimiento para el conjunto de piezas a tratar y recomendando implementar un buen sistema de iluminación de tal manera que la imagen de los objetos se obtenga de manera homogénea durante todo el día.

Aportando a nuestra investigación comprender la técnica de clasificación usando el esquema de redes neuronales que es parte de uno de los diferentes tipos de clasificación de productos que existen y así poder aplicarlo nuestro trabajo de investigación.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Vargas (2010), realizó la investigación sistema de visión artificial para el control de calidad en piezas cromadas desarrollado para obtener el grado de maestro en ingeniería de manufactura, teniendo como objetivo general desarrollar un sistema de inspección visual que se ejecute en tiempo real basado en la teoría de reconocimiento de patrones prototipo(Pattern matching) aplicando técnicas de comparación de imagen a clasificar adquiriéndola, procesándola, segmentándola, describiéndola, haciendo el reconocimiento e interpretación final llegando a la conclusión de que la teoría propuesta es capaz de reconocer objetos aunque la imagen haya sufrido una traslación, rotación o escalamiento y recomendando implementar un sistema de inspección con una base de datos que contengan planillas patrón de todos los accesorios o modelos de piezas.

Aportando a nuestra investigación comprender y analizar los niveles de sistemas de visión artificial que existen, y de esta manera poder elegir el más adecuado para aplicarlo en nuestro sistema.

Sandoval(2005), realizó la investigación de caracterización de café cereza usando visión artificial desarrollado para obtener el grado de magister en automatización industrial, teniendo como objetivo general desarrollar un sistema de visión artificial para la clasificación de frutas de café en once categorías dependiendo del estado de madurez basado en dos métodos de caracterización (univariar y multivariar) aplicando técnicas de clasificación como la bayesiana y redes neuronales llegando a la conclusión de que usando el tipo de clasificación Bayesiana se obtuvo un menor error de clasificación frente a la utilización de redes neuronales y clustering, recomendando implementar un sistema de iluminación óptimo de la escena para poder mejorar y reducir el tiempo de procesamiento de la imagen que este sufre sino está bien iluminada la escena.

Aportando a nuestra investigación comprender y analizar algunos de los diferentes métodos de clasificación de un determinado producto que existen para poder elegir el más adecuado y aplicarlo en nuestro trabajo de investigación.

Quijada (2010), realizó la investigación de Diseño de un sistema automático de inspección por visión artificial enfocado a la caracterización de arroz como indicador de calidad comercial desarrollado para obtener el grado de maestro en ingeniería de manufactura, teniendo como objetivo general desarrollar un sistema eficaz que permita identificar, seleccionar y desechar granos de arroz fuera de especificación basado y aplicando técnicas de caracterización morfológica de grano de arroz en la que primero identifica el tipo de grano luego lo selecciona y lo desecha de acuerdo a las características llegando a la conclusión de que al implementar este sistema se obtuvo una capacidad excelente para adquirir, procesar y finalmente activar la etapa de rechazo en la cual se obtuvo una eficiencia del 97.21% recomendando diseñar un algoritmo de procesamiento que sea capaz de inspeccionar con sensores de visión a color para que el procesamiento de la imagen sea menos lento.

Aportando a nuestra investigación comprender y analizar todo el proceso completo de clasificar un producto aplicando técnicas de visión artificial para así poder elegir algunas de esas técnicas y aplicarlas en nuestro proyecto de investigación.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Sistema de visión artificial

Según Vargas (2010), un sistema de visión artificial es una combinación de hardware y software, que permiten capturar una imagen y aplicarle una serie de técnicas, que ayudan a transformar y sustraer información importante, con la finalidad de que el sistema tome una decisión binaria.

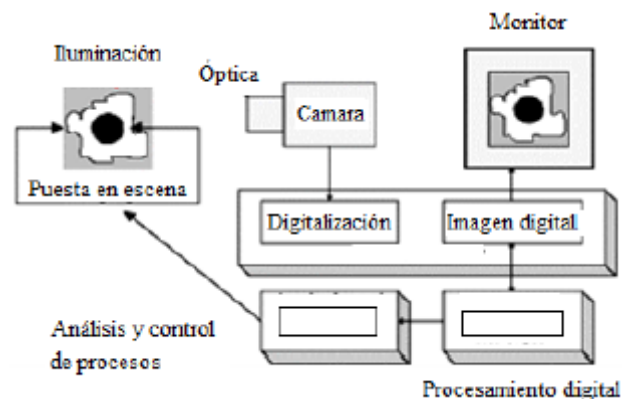


Figura 2.1 Sistema de visión artificial

Fuente: Quijada, 2010.

Una de las mayores dificultades en la inspección de un producto, es la supervisión de la apariencia visual, realizada en la mayoría de las ocasiones por inspectores humanos. La exactitud del sistema humano de visión empeora con el trabajo repetitivo y monótono. Aun cuando es alta la necesidad de precisión y exactitud; ciertamente las personas tienen un periodo limitado de atención, lo cual las hace susceptibles a distraerse. Además, presenta ciertas inconsistencias en su sensibilidad visual en el transcurso del día a día [Somolinos, 2002].



Figura 2.2 Inspección artificial y humana

Fuente: Quijada, 2010.

2.2.1.1 Inspección visual

Según Vargas (2010), todo el proceso es evaluado por la calidad de su producto final. Esto hace de la de control de calidad, una frase crucial del proceso. Los mecanismos utilizados para establecer la calidad de un producto, varían de acuerdo a los parámetros que tengan la relevancia en el mismo.

La inspección de un elemento puede involucrar las siguientes tareas:

- Comprobar la presencia de algunas características esperadas
- Cotejar las dimensiones de esas características
- Verificar imperfecciones presentes en el producto

La inspección en el sentido más amplio se refiere a la verificación de si un objeto cumple con determinados criterios. Esto implica comparar el objeto sujeto a inspección, con algún cuerpo modelo o patrón que describa las características relevantes de la inspección.

A nivel industrial, la inspección se clasifica en 4 tipos: inspección dimensional o geométrica, inspección estructural o de estructuras, inspección de superficies o inspección de operación.

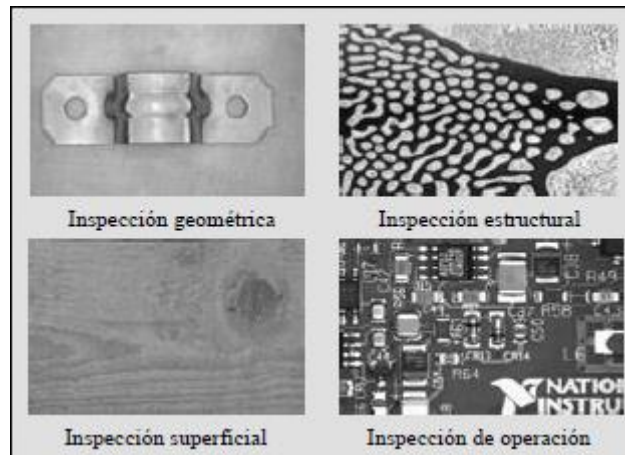


Figura 2.3 Tipos de inspección

Fuente: Vargas, 2010.

Como se mencionó anteriormente, si bien es cierto que la inspección visual humana es muy flexible y se puede adaptar a situaciones nuevas rápidamente, también es conocido que la diferencia existente en la capacidad y experiencia de las personas que examinan, así como la fatiga y la monotonía del trabajo de inspección, hacen que la inspección visual humana, sea de inconstante eficiencia y muchas veces poco segura.

Hoy en día, en muchos procesos de fabricación, los límites de detección de defectos, la detección de errores y/o fallas de cada vez más pequeños, la comprobación de objetos de gran complejidad o de varias perspectivas; son factores que han superado la percepción del ojo humano. Por esta razón las empresas del mundo moderno han visto la necesidad de crear sistemas más sofisticados, que les permiten controlar de forma precisa y acertada, la calidad de sus productos y que sean capaces de detectar aquellos errores que un operario pudiera pasar por alto.

Por lo que el control de calidad hoy en día apunta a ser 100% automático, ayudando a disminuir los costos de producción, y al mismo tiempo lograr obtener una inspección visual objetiva y confiable

Según Torres (2002), la automatización del proceso de inspección, ofrece un modo de superar los problemas asociados, a la inspección en el 100% del producto en forma manual. La inspección automatizada se defina como la automatización de uno o más pasos en el procedimiento de inspección.

2.2.1.2 Inspección visual automática

Según Vargas (2010), la inspección visual automática es una combinación de hardware y software, que permiten capturar una imagen para que finalmente se tome una decisión a través de un efector final manipulado automáticamente.

Actualmente estos sistemas se han convertido en una importante herramienta en diversos campos; tales como: medicina, astronomía, geografía, biología, industria agrícola, manufactura, industria militar, etc.

Según Newman y Jain (1995), la inspección visual automática se define como proceso de control de calidad que, mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes y reconocimiento de patrones, determina automáticamente si un producto se desvía de las especificaciones de fabricación.

La mayoría de los procesos industriales donde se han introducido los sistemas de inspección visual automáticos, es en compañías donde las líneas de producción requieren:

- ✓ Inspección del 100% de la producción
- ✓ Alto valor añadido de cada producto individual
- ✓ Realizar inspecciones con una alta precisión durante largos periodos de tiempo
- ✓ Revisar grandes volúmenes de producción en cientos de unidades diarias
- ✓ Garantizar la inspección frente a inevitables distracciones humanas
- ✓ Adquirir de manera continua la información que permita mejorar el proceso
- ✓ Disminuir las pérdidas por desechos
- ✓ Necesidad de control de calidad

Los sistemas de inspección visual automáticos, aplican los mismos criterios de calidad permitiendo una alta fiabilidad de inspección.

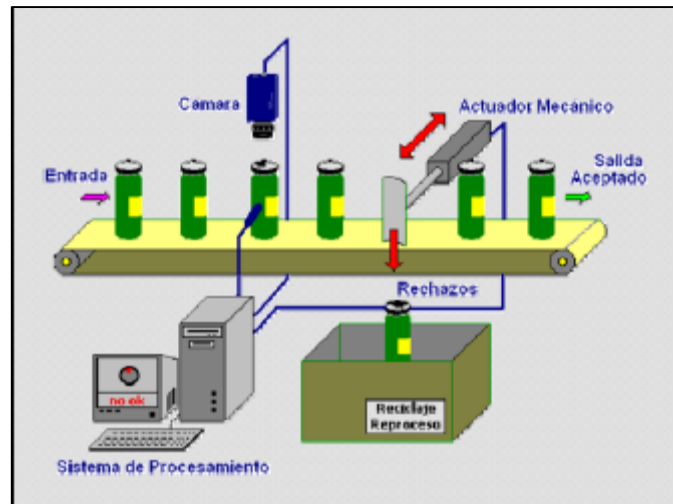


Figura 2.4 Inspección visual automática

Fuente: Vargas, 2010.

2.2.1.3 Consideraciones sobre la visión artificial

Según Vargas (2010), para que un organismo biológico o mecánico pueda interactuar eficientemente con el medio ambiente que se encuentra a su alrededor, es necesario que cuente con los sistemas adecuados de adquisición y de análisis automático de información que percibe. Siendo actualmente el referente al reconocimiento de objetos, uno de los que mayor interés existe en integrarlo a diversos mecanismos, para efectuar tareas que presentan un riesgo de salud e integridad física para el ser humano.

Según Pajares (2002), se estima que aproximadamente las $\frac{3}{4}$ partes de la información que maneja el ser humano es visual, parece lógica pensar que el objetivo de implementar a las máquinas del sentido de las vistas supondrá un salto cualitativo en sus capacidades de actuación. El tratar de dotar a las máquinas mecánicas de capacidades de captación y procesamiento de ciertas funciones hasta ahora atribuibles a organismos biológicos, ha sido desde hace varios años, uno de los retos más llamativos para el ser humano, y que continúa siendo un tópico de estudio en la actualidad.

Según Giro (2008), el reconocer automáticamente a un objeto mediante una computadora, es una tarea que tradicionalmente se ubica dentro de los tópicos de estudio de la inteligencia artificial (IA). Esta disciplina de la IA, nació en la década de los 60's con la idea básica de conectar una cámara de video a una computadora. No fue hasta principios de los 90's que empezó a implementarse con frecuencia en la industria.

Según Vargas (2010), la visión por computadora es una técnica basada en la adquisición de imágenes, con el fin de extraer información de determinadas propiedades de las imágenes adquiridas, logrando verificar un proceso o una actividad específica, de manera limpia, segura y versátil.

La visión por computadora tiene como objetivo:

- Reconocer objetos fijos o en movimiento
- Ubicar el lugar en el cual se encuentran un objetivo
- Definir morfológica o físicamente un objeto
- Identificar los puntos de forma geométrica de un objeto para su posterior manipulación
- Realizar mediciones para poder identificar la distancia que guarda un objeto con respecto de otro

2.2.1.4 Elementos físicos de un sistema de visión por computadora

Según Groover (1998), los pilares del sistema físico de visión por computadora, son dos: el sistema de percepción y el sistema de actuación. El primero está constituido por los sistemas de iluminación, de captación de imagen y de adquisición de señal en la computadora. Una vez introducida la señal en la computadora, esta es procesada mediante el o los algoritmos para transformarla en información útil, para la toma de decisiones, acerca del objeto que se está analizando. Esta información, es utilizada por el sistema de actuación u actuador externo del proceso (actuador final, robot, autómata programable, etc.), siendo innumerables los múltiples periféricos que pueden ser receptores de la información proveniente del sistema de percepción.

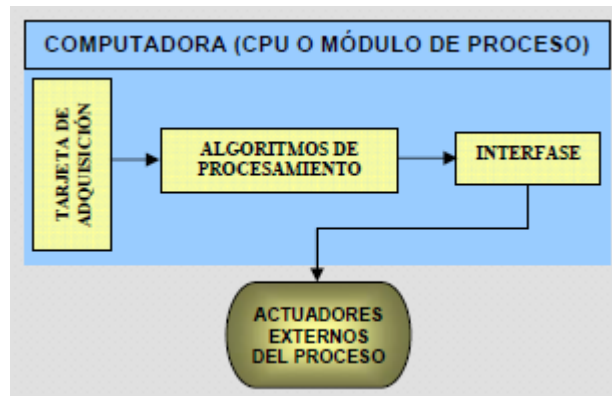


Figura 2.6 Módulo de proceso

Fuente: Vargas, 2010.

2.2.1.6 Sistema de adquisición de señales de video

Según Vargas (2010), la señal eléctrica precedentes de las cámaras de visión o video, forman la señal de video. Hay una tendencia creciente a que su naturaleza sea de tipo digital, pero todavía existe muchas señales de video de carácter analógico.

Para ser tratadas es necesario realizar un muestreo y una cuantificación. Ambas tareas son realizadas por las tarjetas de adquisición, también llamadas frame grabbers. Las tarjetas de captura o adquisición de imagen son las encargadas de digitalizar y transferir la imagen de la cámara a la memoria de la computadora a fin de realizar el procesamiento adecuado de la escena. En la actualidad el trabajo desempeñado por este tipo de tarjetas, está empezando a ser sustituido por conexión a Ethernet.

Lo anterior debido a que la Ethernet, puede ser usada para trabajar con distintos de protocolos; tales como: TCP/IP, UDP/IP, IP/ICMP, IPX/SPX, etc. Utilizados para intercambiar datos entre la PC's y diversos dispositivos o hardware.

Una cámara CCD mediante una PC tiene las siguientes ventajas:

- Los datos pueden ser transferidos a una velocidad mucho más alta, respecto a otras interfaces
- La longitud del cable Ethernet puede ser superior a 200 metros, extendiéndose a 500 metros con hubs Ethernet y de kilómetros en caso de usar fibra óptica

- El software es más fácil de hacer, ya que existen muchas librerías con clases relacionadas con los protocolos IP/UDP para los sistemas operativos superiores, también porque no es necesario tener ningún acceso a los recursos de la PC de bajo nivel.
- Baja sensibilidad a interfaces eléctricas
- Muchos dispositivos, incluso de diferentes clases, pueden estar conectados junto con varias PC's y servidores; esto facilita el acceso a la información, así como su procesamiento y rendimiento general del sistema.

2.2.1.7 Sistema de iluminación

Según Vargas (2010), es el conjunto de artefactos que producen radiación electromagnética, la cual incide sobre los objetos a visualizar. Conseguir una correcta iluminación, es de vital importancia para desarrollar de forma satisfactoria un sistema de visión que permita realizar las tareas de: inspección, medición, clasificación, monitorización y de control en aplicaciones industriales. Iluminar el objeto bajo estudio y su entorno, es un paso importante en el desarrollo de un sistema de visión.

Los objetivos de una iluminación adecuada, son básicamente independizar las condiciones del entorno en la escena, y resaltar los rasgos de interés del o de los objetos de estudio.

Distintos factores determinan la iluminación idónea en una aplicación de visión, entre los que se incluyen: tipo de cámara, rango de lente, incidencia de luz ambiente y técnicas de procesamiento de imagen a utilizar. En cualquier caso, una correcta iluminación facilitara el desarrollo del sistema de visión global.

Existen cuatro tipos de iluminación, utilizadas para resolver las aplicaciones de visión por computadora:

- Iluminación por fibra óptica
- Iluminación fluorescente
- Iluminación laser
- Iluminación por led

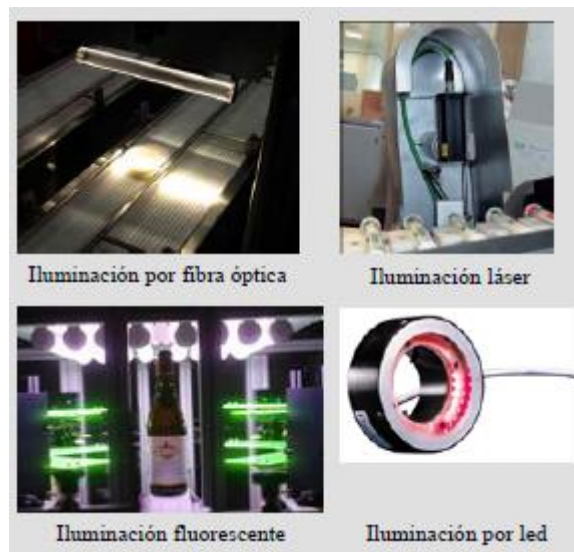


Figura 2.7 Tipos de iluminación

Fuente: Vargas, 2010.

Técnicas de iluminación:

- Iluminación difusa, donde la luz incide sobre el objeto, ya sea verticalmente, horizontalmente o de forma oblicua.
- Iluminación por contraste o retro iluminación, donde se ilumina una pantalla de forma que lo que se busca es el contorno del objeto a modo de sombra. Este objeto puede estar delante o detrás de la pantalla. La iluminación frontal permite distinguir los detalles de los objetos, así como su forma, permitiendo extraer más parámetros de cada objeto como su color, detalles internos etc.

Por otro lado, la retro iluminación solo sirve para la detección de contornos simplificando por otra parte la etapa de segmentación que se debe efectuar posteriormente a la captura.

2.2.1.8 Sistema de captación

Según Vargas (2010), la cámara es el dispositivo que utilizando un juego de lentes (objetivo) reconstruye una imagen sobre un elemento sensible (sensor), y la transmite al sistema de adquisición de la computadora. Dicha transmisión puede ser

digital o analógica. En otras palabras, los sistemas de captación, son los transductores que convierten la radiación reflejada luminosa (escena), en señales eléctricas de video.

La cámara desempeña la función de sensor en un sistema de visión por computadora. Los sensores de imagen son componentes sensibles a la luz, que modifican su señal eléctrica en función de la intensidad luminosa que perciben. Existen distintas tecnologías para la captura de imágenes, siendo la naturaleza del proyecto, la que determine la más adecuada en cada caso.

Las cámaras más comunes son las basadas en CCD debido a su bajo costo, bajo consumo, buena resolución, durabilidad y facilidad en el manejo. Son consideradas como dispositivos que poseen una baja deformación geométrica de la imagen, buena sensibilidad a la luz, así como resolución. El tiempo de captura de la imagen se encuentra característicamente en el rango de 1/60 s y 1/1000 s. Utilizan un array CCD, que se ha convertido en el estándar tecnológico de dichas cámaras.

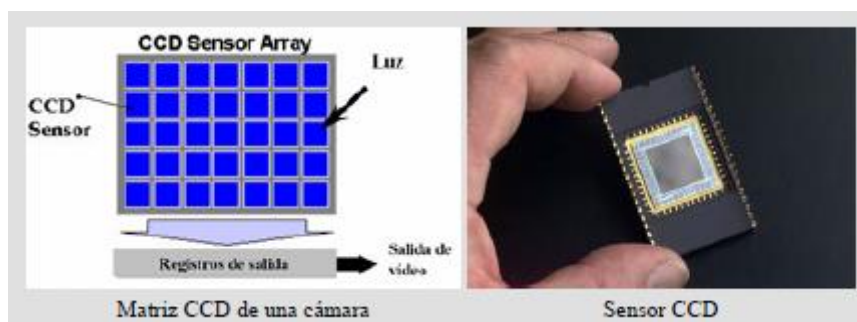


Figura 2.8 Características de una cámara CCD

Fuente: Vargas, 2010.

Las CCD más utilizadas:

- CCD progresivo: se caracterizan por realizar una transmisión analógica e integración progresiva (campos pares e impares a la vez). Las cámaras con CCD progresivo llamadas también de barrido progresivo, al contrario que las de entrelazado, son útiles para la adquisición de imágenes de objetos en movimiento.
- CCD entrelazado: se caracterizan por realizar la adquisición y la transmisión de los campos pares e impares por separado. Este tipo de cámaras no es adecuado para la adquisición de objetos en movimiento.

- CCD digital: realiza transmisión digital, integración de toda el área visible, tiene la capacidad de realizar lecturas parciales y no destructivas, y permiten variar la resolución.

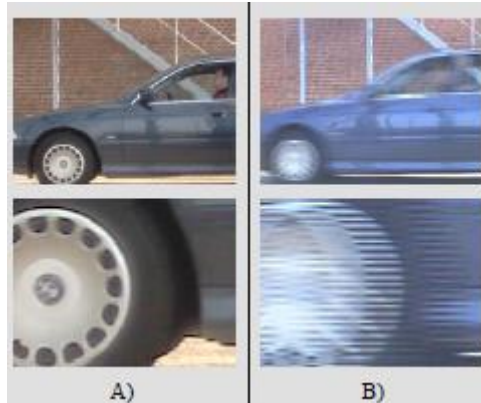


Figura 2.9 Barrido Progresivo

Fuente: Vargas, 2010.

El término barrido progresivo significa que toda la imagen y no solo la mitad de ella, se acumula simultáneamente en un mismo instante. El resultado es una resolución vertical completa en formato de video no entrelazado. De esta manera, se pueden capturar objetos en movimiento a la máxima resolución sin efecto de desenfoque. La mayoría de los sensores que se fabrican actualmente son entrelazados (para aplicaciones de televisión y vigilancia), debido a que las cámaras progresivas, tienen un precio más elevado que las entrelazadas, pero estas últimas son las adecuadas en las visiones por computadora.

2.2.1.9 Actuadores externos

Según Vargas (2010), es el conjunto de elementos receptores de la información de alto nivel. Se trata de sistemas automáticos que responden electromecánicamente. Puede tratarse de monitores de altas gráficas, robots, variadores de frecuencia, autómatas programables, dispositivos neumáticos e hidráulicos, etc. Otra de las funciones de estos sistemas, es la generación de estadísticas e informes del proceso al que están asociados, lo que permite disponer de una información global de los procesos para facilitar la toma de decisiones.

2.2.2 Procesamiento digital de imágenes

Según Vargas (2010), el análisis realizado por humanos en imágenes y/o objetos, presenta dificultades en muchos casos, debido a que el proceso de inspección visual consume una gran cantidad de tiempo, aunado a las interpretaciones personales y de experiencia por parte de las personas. El procesamiento de imágenes versa sobre la manipulación y análisis de imágenes reales por computadora. Resuelve el problema de inspección e interpretación humana, al poder automatizar el proceso de extracción de información útil con datos suministrados por imágenes. Con el procesado de imágenes, es posible mejorar la calidad de la imagen de una escena.

El termino imagen se refiere a una función bidimensional de intensidad de luz $f(x, y)$, donde x e y denotan las coordenadas espaciales y el valor de f en cualquier punto (x, y) es proporcional al brillo(o nivel gris) de la imagen en ese punto.

Una imagen digital, es una imagen $f(x, y)$ que ha sido discretizada en coordenadas espaciales y en brillo. Puede considerarse como una matriz o mallado cuyos índices de renglón y columna, identifican un punto en la imagen y el correspondiente valor del elemento en la matriz que identifica el nivel de intensidad de luz en ese punto.

Los elementos de tal arreglo digital son llamados: elementos de imagen, elementos de pintura, pixeles o pels, cada uno con un lugar y valor específico.

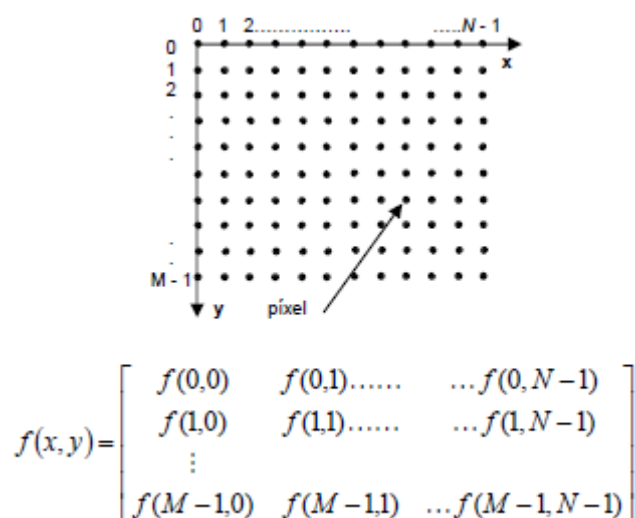


Figura 2.1 Matriz de una imagen

Fuente: Vargas, 2010.

Las imágenes digitales tienen tres propiedades básicas: Resolución, definición y número de planos.

- Resolución: la resolución de una imagen es el número de filas y columnas que forman los píxeles. Una imagen que tiene M filas y N columnas tiene una resolución de MxN.
- Definición: La definición de una imagen, también llamada profundidad de pixel, indica el número de colores que se pueden ver en la imagen. La profundidad de modulación es el número de bits usado para codificar la intensidad del pixel.
- Numero de planos: Es el número de arrays de píxeles que componen la imagen. Una imagen es escala de grises (gray-level) está compuesta por un solo plano, mientras que una imagen de color verdadero (true-color) está formado por tres planos: Rojo (R), Verde (G), y Azul (B).

De acuerdo a la definición de profundidad de pixel, para trabajar con números en la computadora, el nivel de brillo, o valor de cada pixel, es cuantizado a códigos binarios enteros positivos. El número de niveles de cubanización está determinado por la relación:

$$L = 2^n$$

Donde n representa el número de bits para cada muestra. Esto es, que con 5 bits de cuantización en la intensidad se pueden representar 32 niveles de gris ($2^5=32$). Para tener una imagen de buena calidad para el ojo humano es necesario tener como mínimo 64 niveles de gris. Para una apreciación fina se usa una cuantización estándar a 8 bits, esto es 256 niveles de gris en rango de [0,255], en donde a la escala de gris 0 es asignada al color negro y la escala de gris 255, al blanco. A una imagen cuantizada de esta manera se le conoce como imagen en tonos de gris.

La cuantización a 8 bits (1 byte) se dice estándar porque el mínimo número direccionable directamente por la mayoría de los microprocesadores. Una imagen binaria es una imagen monocromática cuantizada a 1 bit por pixel, esto es, dos niveles, blanco y negro. Para el caso de imágenes a color, suelen usarse 256 niveles para representar la

intensidad de color de cada uno de los tres colores primarios RGB. De esta forma se obtienen 16 millones de colores aproximadamente y se habla de imágenes en color real. En algunos casos puede necesitarse mayor resolución radiométrica y se usan 4096 niveles por banda de color en vez de 256, o incluso más.

Se ha de tener en cuenta, que si el muestreo consiste en mallado de M por N cuadrados y el número de niveles de gris permitido $L = 2^n$, entonces el número de bits totales necesarios para almacenar una imagen digitalizada es: $M \times N \times L$. Por ejemplo para una imagen de 1024x1024 con 256 niveles de grises necesita 1024 KB= 1MB de memoria.

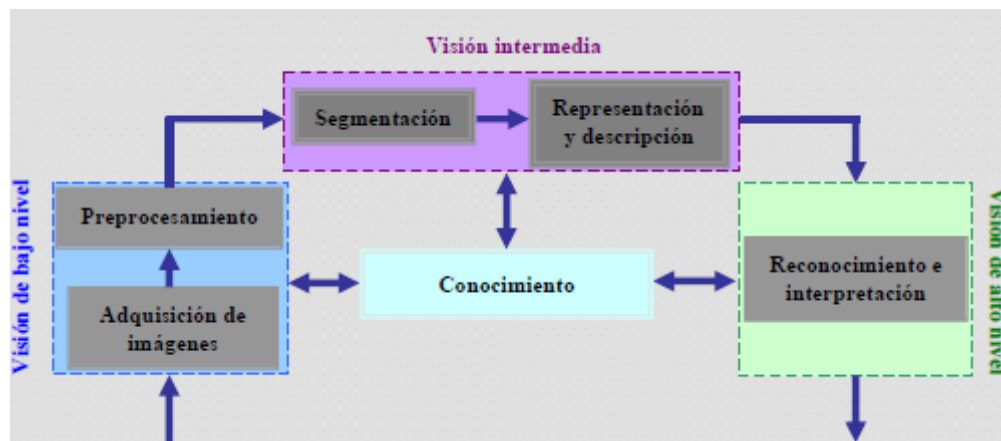


Figura 2.2 Procesamiento digital de una imagen

Fuente: Vargas, 2010.

Aunque cada aplicación de visión por computadora, tiene sus propias especificaciones para realizar una tarea en concreto, se puede decir que existe un tronco común de etapas entre ellas, mismas que están agrupadas en 3 tipos de niveles: visión de bajo, intermedio y alto nivel.

Los niveles y etapas que conforman el procesamiento de imágenes, tienen como objetivo mejorar la calidad de las imágenes, con la finalidad de realizar una interpretación y por consiguiente obtener un resultado. Cabe mencionar que dichos niveles y etapas varían de acuerdo al entorno donde se pretenda implementar un sistema de visión; dichos entornos se dividen en: industriales y científicos. Destacando que en aplicaciones industriales, la velocidad a la que se realizan las operaciones es fundamental ya que se

deben evaluar todos los productos en tiempo real, en tanto en que las aplicaciones científicas, se busca la determinación de los resultados en imágenes más complejas.

2.2.2.1 Adquisición de imágenes

Según Vargas (2010), el primer paso del proceso de sistema de visión, es la adquisición de la imagen, esto es, digitalizarla. En esta etapa se construye el sistema de información de las imágenes, basado en la captura y/o adquisición de la imagen. Su objetivo es realzar, mediante técnicas de fotografías (iluminación, óptica, cámaras, filtros, pantallas, etc.), las características visuales de los objetos (formas, texturas, colores, sombras, etc.).



Figura 2.3 Adquisición de imágenes

Fuente: Vargas, 2010.

La imagen debe obtenerse utilizando alguna fuente de energía que en interacción con el objeto de análisis, brinde información sobre su estado. Dependiendo del tipo de análisis que se desee hacer sobre elemento de estudio, se deberá seleccionar la energía necesaria para poder tomar una imagen de él. Los tipos de energía utilizados son: luz (visible) para la fotografía; rayos X y rayos gamma para radiografías y tomografías, ultrasonido para ecografías, campos magnéticos para resonancias magnéticas, calor para termografías, etc.

2.2.2.2 Preprocesamiento

Según Vargas (2010), posterior a la obtención de una imagen digital, el siguiente paso es el preprocesamiento. Su objetivo es mejorar la calidad informativa de la imagen adquirida, y transformarla para conseguir una manera más adecuada de interpretar la información que en ella se refleja; de manera que se incrementa la oportunidad de éxito de los siguientes procesos. Cuando se adquiere una imagen mediante cualquier sistema

de captura, por lo general esta no es directamente utilizable por el sistema de visión. La aparición de variaciones en intensidad debidas a ruido, a deficiencias en la iluminación, o a la obtención de imágenes de bajo contraste, hace necesario un preprocesamiento de la imagen con el objetivo fundamental de corregir estos problemas, además de aplicar aquellas transformaciones a la imagen que acentúen las características que se deseen extraer de las mismas, de manera que se faciliten las operaciones de las etapas posteriores.

Como técnicas de preprocesamiento, resaltan dos tipos: las que buscan eliminar características no deseadas y las que examinan resaltar determinadas características de la imagen.

Algunas de las técnicas de preprocesamiento más habituales son:

- Conversión del color o de los niveles de gris: su objetivo es la mejora de la calidad de la imagen.
- Transformaciones geométricas: no modifican la información, solo el aspecto visual. El objetivo fundamental de una operación geométrica, es transformar los valores de una imagen, tal y como podría observarse desde otro punto de vista. Algunas de las transformaciones son: rotar, trasladar y zoom.
- Transformación del Histograma: las transformaciones del histograma pueden facilitar la segmentación de objetos de la imagen, aunque habitualmente solo sirve para modificar el contraste de la imagen y el rango dinámico de los niveles de gris.
- Filtrado espacial y frecuencial: dado que pueden suponer una importante modificación de la imagen original, generalmente solo se consideran filtrados aquellas operaciones realizadas en el dominio espacial o frecuencial que suponen transformaciones pequeñas de la imagen original.

2.2.2.3 Segmentación

Según Vargas (2010), es el proceso mediante el cual se divide la imagen en regiones con significado, diferenciando los objetos que aparecen y separándolos del entorno en que se encuentran. Dicho de otra forma, esta etapa trata de detectar automáticamente los bordes o contornos entre los elementos o regiones en una escena. La

segmentación es uno de los procesos más importantes en la localización de objetos en un entorno, siendo el proceso previo al de extracción y reconocimiento de objetos.

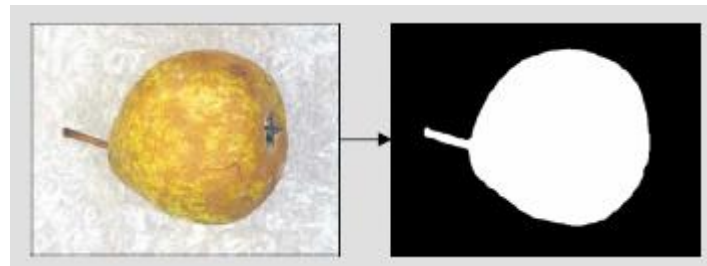


Figura 2.4 Segmentación de contorno

Fuente: Vargas, 2010.

Para la segmentación de las imágenes, se usan tres conceptos básicos:

- Similitud: los píxeles agrupados del objeto deben ser similares respecto a algún criterio (nivel de gris, color, borde, textura, etc.).
- Conectividad: los objetos corresponden a áreas de píxeles con conectividad. Las particiones corresponden con regiones continuas de píxeles.
- Discontinuidad: los objetos tienen formas geométricas que definen unos contornos. Estos bordes delimitan unos objetos de otros.

Partiendo de los conceptos antes expuestos, se dice que la segmentación se basa en dos principios fundamentales: discontinuidad y similitud. Por tanto, cabe mencionar que la segmentación tiene dos distintos enfoques; aquel orientado a bordes o contornos y otro orientado a regiones.

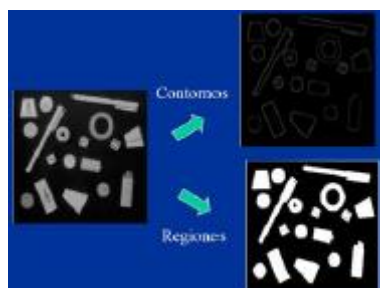


Figura 2.5 Segmentación de bordes y contornos

Fuente: Vargas, 2010.

Tanto la detección de bordes como la de regiones implican una manipulación de la imagen original, que supone en definitiva una transformación de la misma, de forma que los valores de los píxeles originales son modificados mediante ciertas funciones de transformación u operadores.

Para la detección de bordes se proponen los siguientes pasos:

- Binarización basada en el uso de umbrales
- Crecimiento de regiones mediante la adicción de píxeles
- División de regiones
- Similitud de textura, color o nivel de gris

2.2.2.4 Extracción y selección de características

Según Vargas (2010), con los objetos a estudiar ya definidos, es necesario extraer una serie de características que los representen adecuadamente en forma de vector de características.

La descripción y representación, llamadas también selección de características, tienen como objetivo resolver el problema del reconocimiento. Tratan con la extracción de los rasgos que representen alguna información cuantitativa de interés o características que sean básicas para diferenciar una clase de objetos de otra. Los rasgos usados para el sistema dependen del tipo de objetos a ser reconocidos.

Los rasgos o características pueden clasificarse en geométricos y topológicos. Un rasgo geométrico permite, describir una propiedad geométrica del objeto; el área y el perímetro de un objeto son dos rasgos de este tipo. Un rasgo topológico permite describir una propiedad que tiene que ver con la estructura del objeto; el número de hoyos, descriptores de Fourier, el número de Euler son ejemplos de estos rasgos.

La elección de características se intenta que:

- Sean discriminantes: tengan valores numéricos diferentes para clases diferentes

- Sean fiables: tengan valores parecidos dentro de una misma clase, permitiendo diferenciar objetos similares sin ser iguales.
- La descripción del objeto que tiene que ser lo más completa que se pueda y no presentar ambigüedades.
- Se calculen en tiempo aceptable, de manera que sean utilizables en problemas de tiempo real.

2.2.2.5 Reconocimiento en interpretación de formas

Según Vargas (2010), la última etapa en el procesamiento digital de imágenes, es la que comprende al reconocimiento e interpretación de formas, también denominado en conjunto como reconocimiento de patrones.

El reconocimiento es el proceso que etiqueta o asigna a un nombre, a un objeto basándose en la información que proveen sus descriptores o patrones. La interpretación involucra la asignación de significado a un conjunto de objetos reconocido.

En esta etapa del procesamiento digital de imágenes, se desarrollan algoritmos computacionales orientados a la emulación del proceso de visión humana, que permiten reconocer objetos y tomar decisiones o efectuar tareas. Para la cual se utilizan técnicas de reconocimiento geométrico de formas, como el aprendizaje supervisado en condiciones estadísticas; algoritmos de clasificación no supervisado o clustering, redes neuronales, pattern matching, solo por mencionar algunas. Por lo que el reconocimiento de patrones, está íntimamente relacionado con otras áreas tales como: sistemas de procesamiento de señales, inteligencia artificial, modelado neuronal, teoría de la optimización y estimación, teoría de autómatas, lógica difusa, lenguajes formales, etc.

2.2.2.6 Conocimiento

Según Vargas (2010), la base de conocimientos mantiene todo el conocimiento que se tiene acerca del problema tratado. Este conocimiento puede ser simple, teniendo solo las regiones de la imagen donde la información de interés se conoce que está localizada, con lo que se limita la búsqueda que conduce a esa información. Dicha base, también puede ser compleja, tal como una lista interrelacionada de todos los defectos

mayores posibles en un problema de inspección de materiales, o una base de datos de imágenes conteniendo imágenes de satélite en alta resolución, de una región en conexión con aplicaciones de detección de cambios.

Además de guiar la operación de cada etapa del proceso, la base de conocimientos también controla la interacción entre módulos. Esta comunicación entre los módulos del procesamiento digital de imágenes, generalmente se encuentra basada en el conocimiento previo de los resultados que se pueden esperar.

2.2.3 Clasificación de productos

Según Zulma (2005), la visión computarizada primero fue aplicada en otras etapas de la producción agrícola deferentes de la recolección; tales como: clasificación, detección de defectos, control de calidad, valoración de madurez de frutas y verduras. La clasificación es un proceso que puede hacerse por métodos manuales, con dispositivos electromecánicos o electro-ópticos, entre otros. Pero estos métodos y por tanto decrementan la eficiencia del proceso de clasificación

La clasificación manual es una tarea altamente subjetiva, sujeta al error humano y no siempre es consistente. Se ha probado que difícilmente coincide una estimación de calidad hecha por un humano al repetir una prueba; esto es definido como inconsistencia. Los costos de clasificación manual pueden ser altos, ya que se requiere un gran número de trabajadores para separar los productos que cumple con determinadas características. Los aparatos electromecánicos no son muy precisos y por su contacto directo con los productos pueden causar daño mecánico. En la clasificación electro-óptica el número de categorías para la clasificación es reducido. Por ejemplo, un dispositivo electro-óptico utilizado para clasificar nueces de pistacho solo puede clasificar en dos categorías: aceptado o rechazado; en muchos procesos se necesita que el producto se pueda separar en más de dos clases.

La clasificación que emplea técnicas de visión artificial se hace con base en el análisis de una imagen digital del producto. De cada imagen se pueden extraer propiedades del producto tales como: la forma, el tamaño, el color, etc. La clasificación de productos por medio de visión artificial comprende los siguientes pasos principales:

adquisición de las imágenes, segmentación de los objetos presentes en la imagen, extracción de las características de los objetos, interpretación de estas y la asignación a una clase.

Algunas industrias prefieren optar por un proceso de clasificación sencillo y eficiente que realiza una colección selectiva, ya que los costos de producción son menores y la tasa de cosecha más alta. Sistemas de clasificación usando visión artificial han sido implementados con éxito en los procesos productivos de papas, olivas, brócoli, nueces de pistacho y manzanas.

2.2.3.1 Proceso de clasificación

Según Zulma (2005), en el proceso de clasificación se requiere de una regla de decisión, conocida como el criterio de clasificación, para poder clasificar los productos dentro de dos o más grupos definidos, llamados clases, con base en las características cualitativas extraídas de los objetos. El criterio de clasificación es usualmente derivado de la observación de las clases conocidas o grupo de entrenamiento. Hay en la literatura muchos métodos de clasificación, para determinar cuál de los clasificadores funciona adecuadamente para una aplicación particular se deben realizar pruebas experimentales. Algunos de estos clasificadores están hechos con base en métodos estadísticos, usando redes neuronales, lógica difusa, etc.

Los métodos estadísticos se fundamentan en la regla de Bayes del mínimo error, resolviendo el problema de clasificación en términos probabilísticos, donde se concluye que un objeto, con unas características determinadas, pertenece a una clase si la probabilidad de pertenecer a esta clase es mayor que la probabilidad de pertenecer a cualquier otra clase. En las aplicaciones prácticas, las funciones de probabilidad no se conocen y por lo tanto se deben estimar. Esta estimación se hace con aproximaciones paramétricas y no paramétricas. En la primera de estas, se asume la forma de la función de probabilidad, y se estiman sus parámetros a partir del conjunto de entrenamiento. En la aproximación no paramétrica se calculan las funciones de probabilidad directamente del conjunto de entrenamiento.

Las redes neuronales artificiales emulan las redes neuronales biológicas y se utilizan para aprender estrategias de control observando la forma como una persona lo

hace. Son sistemas que aprenden con ejemplos, no requieren que la tarea a ejecutar se programe.

Las redes neuronales reaccionan, aprenden y se auto-organizan. Para entrenar una red neuronal se le presentan de manera repetitiva y sistemática un conjunto de entradas, se evalúa la calidad de las respuestas para estas entradas, y se ajusta la fórmula que genera estas acciones.

Los sistemas difusos se basan en reglas que utilizan lógica difusa para imitar el razonamiento humano de un experto. La lógica difusa permite analizar información del mundo real donde las cosas son parcialmente ciertas. Esta información involucra incertidumbre, inexactitud y contiene ruido. En la lógica clásica un objeto pertenece parcialmente a un conjunto. El grado de pertenencia está dado por un valor que está entre cero y uno. La clasificación de un objeto se hace con base en el análisis del grado de pertenencia que tiene este a las diferentes características.

Existe una gran diferencia entre los sistemas difusos y los estadísticos, los dos operan sobre el mismo rango numérico por los conceptos distintos. Las probabilidades miden si algo va a ocurrir o no. Los niveles difusos miden el grado en el cual algo ocurre o alguna condición existe.

Los clasificadores con redes neuronales tienen ventajas comparados con los métodos estadísticos tales como adaptabilidad, procesamiento paralelo masivo y tolerancia a los errores. Las redes neuronales han sido implementadas con éxito en actividades de inspección de calidad y clasificación de diferentes productos agrícolas, debido a que las características que definen a estos productos no siguen una función matemática determinada.

2.2.4 Frutas. Limón sutil

CARACTERISTICAS DEL BIEN

Denominación del bien	: LIMÓN
Denominación técnica	: LIMÓN SUTIL
Grupo/Clase/Familia	: Alimentos, bebidas y productos de tabaco/Frutas frescas/Limas/Limas Key
Nombre del bien en el catálogo de CEASE	: LIMON
Código	: 5030420200134404
Descripción general	: El limón es un fruto obtenido de la <i>citrus aurantifolia</i> (Christman) Swingle de la familia de las Rutaceae, también llamado Limón de Cebiche y Limón de pica. Es de color verde, pero podrá presentar decoloraciones (manchas amarillas) hasta el 30% de su superficie.

CARACTERISTICAS TÉCNICAS DEL BIEN

De acuerdo a sus características de sanidad y aspecto, el limón se clasificará en los siguientes grados de calidad:

- a. Categoría Extra
- b. Categoría I
- c. Categoría II

De acuerdo a su tamaño, se clasifica en los siguientes calibres:

Tabla 2.1: Clasificación de limón

Calibre	Diámetro (mm)(*)	Unidades del producto por kg
A	44 a mas	20 -22
B	41 a 43.9	23-27
C	38 a 40.9	28-30
D	35 a 37.9	34-39

(*) Se determina por el diámetro máximo de la sección ecuatorial del fruto

Fuente: Norma técnica peruana

Importante: la cantidad convocante deberá indicar, en las bases y en la plataforma del contrato el grado de calidad y calibre del limón a adquirir

2.2.5 Cintas transportadoras de la industria manufacturera

Según Comesaña (1997), define a las cintas transportadoras como máquinas complejas cuyo objetivo el movimiento entre dos puntos de una carga determinada. Este transporte se puede realizar básicamente de dos formas bien utilizando la gravedad o bien mediante el uso de medios motorizados.

Éstas son las bases de una cinta transportadora. Las cintas transportadoras están formadas básicamente por tres partes esenciales la estructura de soporte, el elemento móvil y la Motorización (si la hay). Para la construcción y desarrollo de estos elementos, se necesita desarrollar el conocimiento de ciertas técnicas generalistas como:

- Mecánica básica. Es importante conocer los sistemas de montaje que se pueden llevar a cabo para la construcción de la estructura, así como los mecanismos básicos en el desarrollo de la misma.
- Sistemas de rodadura. Una de las características principales de las cintas transportadoras es el movimiento de rodadura de muchos de sus componentes; es importante conocer los accesorios utilizados para llevar a cabo esa rodadura.
- Electricidad básica. Enfocada, sobre todo, a la instalación de los motores y motorreductores, que son los encargados de dotar de movimiento a las cintas.

2.2.5.1 Mecánica básica de mecanismos

En cuanto los conocimientos de mecánica básica aplican la instalación y montaje de cintas transportadoras que ofrecerán a continuación, éstos se deben establecer en función de las necesidades de las mismas. En cuanto a la motorización de las cintas, se deben conocer los elementos mecánicos más utilizados en la secuencia de la misma, esto son los engranajes, cadenas y correas.

El sistema de montaje usado en los sistemas de cintura continua varía de la fase de fabricación a la de instalación de los mismos. En el proceso de construcción, se suelen utilizar sistemas de montaje fijos, como soldaduras y remaches, para asegurar una

constitución robusta de la estructura de la cinta. Sin embargo, en el proceso de montaje e instalación se utilizan los sistemas de unión desmontables, están constituidos por elementos de sujeción cuya misión es realizar la unión de dos elementos mediante la presión de los mismos, estas pueden ser uniones roscadas y pasadores.

2.2.5.2 Sistemas de rodadura empleados en el guiado de cintas transportadoras

Se entiende como sistema de rodadura a dispositivos utilizados para posibilitar el movimiento de giro de los elementos de guiado y motorización de una cinta transportadora. Como base de estos sistemas, surge el rodamiento en sus distancias configuraciones en función de las características del sistema. Los rodamientos más utilizados para las cintas transportadoras son de bolas rígidas, rodillos guía y soporte de rodamiento o chumacera.

2.2.5.3 Electricidad básica

En cuanto a los aspectos eléctricos, se puede decir que, en general, el montaje eléctrico de un sistema de cinta continua está formado por dos sistemas bien diferenciados:

- El sistema de mando es el encargado de llevar a cabo los procesos de puesta en marcha, regulación de velocidad, parada y parada de emergencia. Básicamente los sistemas eléctricos de mando se constituyen tan solo por pulsadores de puesta en marcha y un variador de frecuencia para regular la velocidad del motor.
- En cuanto a los sistemas de actuadores, los motorreductores son los más usados casi en la totalidad de las aplicaciones, con lo cual es conveniente su conocimiento.

2.2.5.4 Tipos principales de transportadores en la industria

2.2.5.4.1 Transportadores a gravedad

Los transportadores o secciones a gravedad no motorizados son los equipos para el manejo de materiales que adaptan el peso del material transportado junto con la inclinación del equipo para vencer la inercia del arranque, y generar así un movimiento de aceleración en distancia controlado por gravedad, entre ellos encontramos a los de

sección a gravedad de rodillos, sección a gravedad de ruedas plásticas o metálicas y tobogán helicoidal a gravedad.

2.2.5.4.2 Transportadores motorizados

El uso de las cintas transportadoras motorizadas es debido principalmente a necesidades de velocidad, precisión y capacidad de carga, los tipos de transportadores motorizados más importantes son:

- Transportadores de banda: Son los equipos más estandarizados y usados a nivel mundial, ya que su operatividad se diversa en casi todos los procesos de la industria. Este equipo consta de cuerpos modulares en cama de acero de lámina doblada que se acoplan entre sí mediante planchas de acero. Este equipo está diseñado para el transporte de cajas, cestas, paquetes, bultos, y piezas plásticas que requieran ser movilizadas de un lugar a otro.

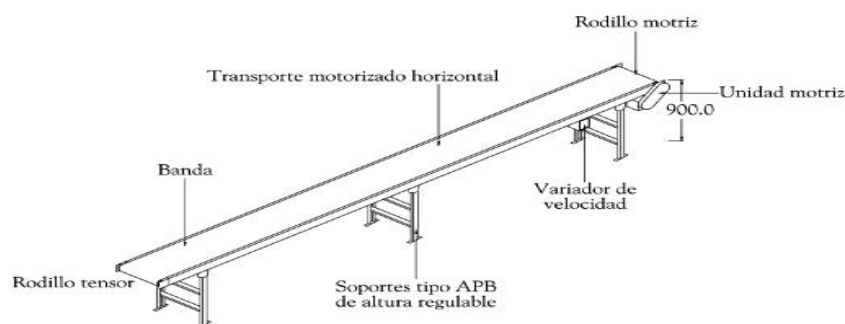


Figura 2.15 Transportador de banda

Fuente: Comesaña - Montaje instalación de sistemas de transporte por cinta continua

- Transportadores de banda plástica modular: Este equipo es la última generación de bandas transportadoras que se encuentran en el mercado, es una banda totalmente sanitaria, fácil de limpiar y garantiza una operatividad continua. Diseñado para el empaquetado, manejo y transporte de productos alimenticios, consta de eslabones plásticos autoalineados y engranados por piñones plásticos en punta, que evitan el deslizamiento lateral y el descarrilamiento de las bandas. Esta corre corre sobre guías de desgaste de ultraleno que evita el roce, el desgaste y el ruido entre la correa y la estructura del transportador.

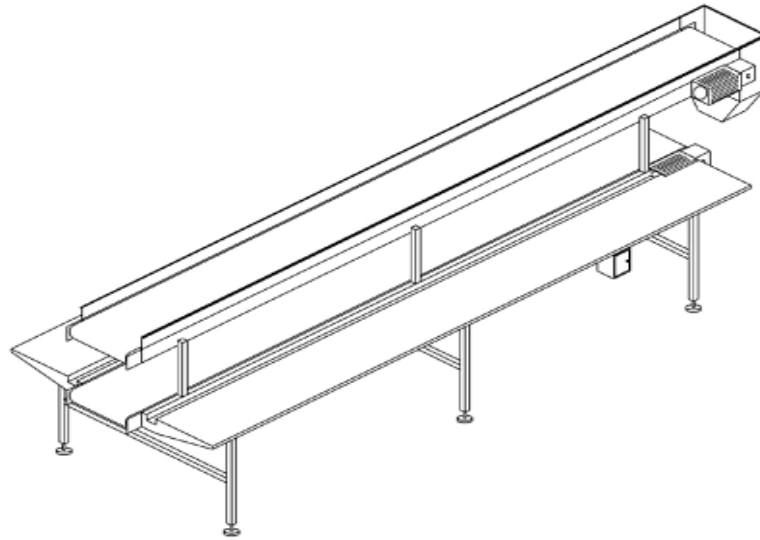


Figura 2.16 Transportadores de banda plástica modular

Fuente: Comesaña - Montaje instalación de sistemas de transporte por cinta continua

- Transportadores de banda Tabletop: Este sistema consta de eslabones de cadena plástica o de acero inoxidable con sistema basculante en su punto central, que permite transportar en línea recta o curva productos con fondo irregular y garantizando la correcta entrega de los mismos desde su punto de carga hasta el lugar de descarga, permitiendo adicionar en su recorrido cualquier otro proceso productivo como el llenado, tapado, etiquetado o marcado. Normalmente es utilizado en la industria de bebidas, gaseosas, cerveza, industria química o cosmetología.

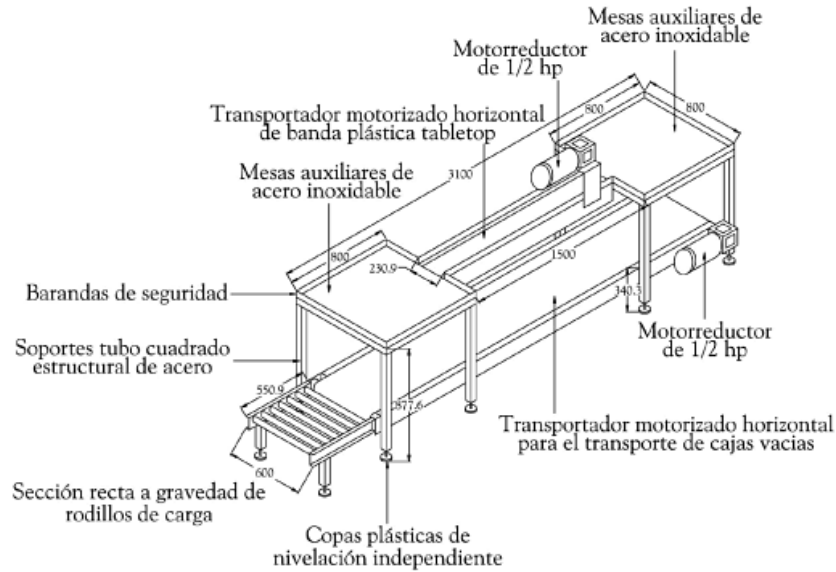


Figura 2.17 Transportadores de banda tabletop

Fuente: Comesaña - Montaje instalación de sistemas de transporte por cinta continua.

2.2.5.5 Partes de una cinta transportadora horizontal

Según Habasit (2015). Las bandas transportadoras cambian típicamente su longitud dependiendo de las diversas condiciones de temperatura y carga. Para acomodar el diseño de la estructura del transportador deberá de conocer las partes más esenciales del transportador y dependerá de la longitud total de la banda y su aplicación para un buen uso de los materiales.

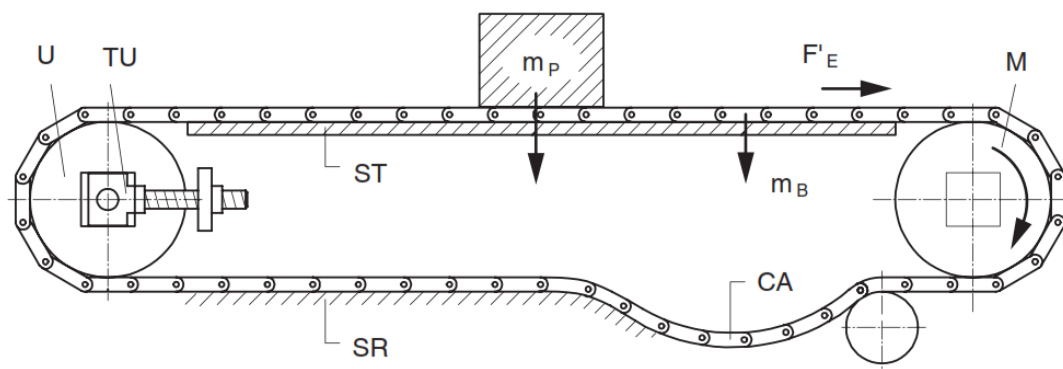


Figura 2.18 Transportadores de banda

Fuente: www.habasit.com/en/modular-belts.htm

2.2.5.6 Cálculo de Cintas Transportadoras

Según Pireli (SF), se entiende por cálculo de una cinta transportadora la determinación de sus características técnicas en relación a los elementos conocidos del transportador:

- ✓ Naturaleza y tamaño del material a transportar.
- ✓ Capacidad horaria.
- ✓ Disposición y longitud de la cinta.

Si se trata de un transportador ya existente, capacidad, ancho y velocidad son ya conocidos con anterioridad. Si, por el contrario, se trata de una nueva instalación, la definición de la cinta está subordinada a la determinación de la combinación más conveniente del ancho y velocidad de la misma para una capacidad horaria dada y un cierto tipo de material, además del cumplimiento de una serie de relaciones constructivas. En efecto, si una cinta va a más velocidad a igualdad de capacidad, resulta más estrecha, y por ello menos costosa; pero, por otra parte, el tamaño de los trozos del material, la acción abrasiva de los mismos sobre la cinta y la necesidad de prevenir la rotura de dichos trozos, son factores que limitan la velocidad a adoptar.

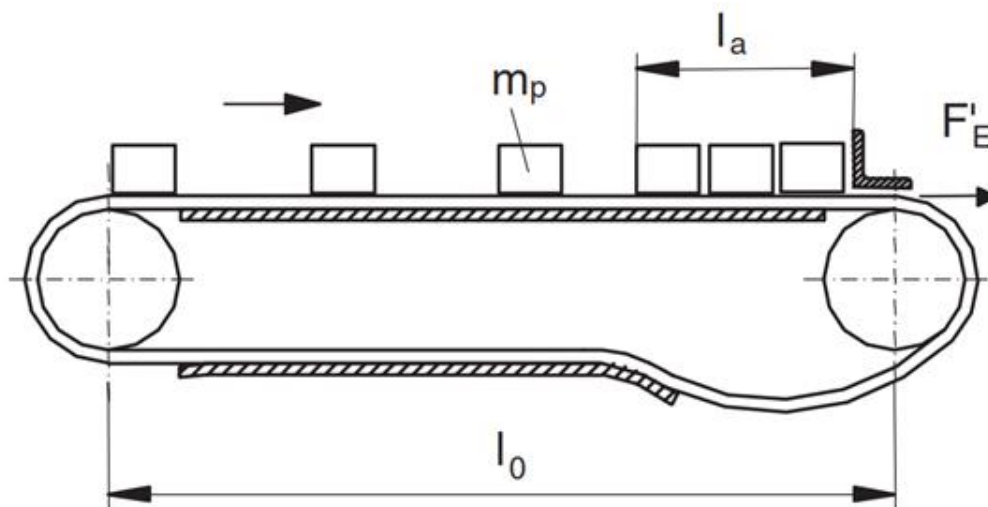
Según Habasit (2015), para el análisis adicional de las fuerzas de tracción de una cinta transportadora provocadas por los productos y acumulación de estos se deben tomar las siguientes fórmulas para hallar la Fuerza de Tracción efectiva F'_E (con acumulación y sin acumulación) necesarias para mover estos productos y requerido la potencia del motor:

$$F'_E = (2m_B + m_P) I_0 \times u_G \times g \text{ [N/m]} \dots (\text{sin acumulación})$$

$$F'_E = [(2m_B + m_P) I_0 \times u_G + m_P \times u_P \times I_a] g \text{ [N/m]} \dots (\text{Con acumulación})$$

Estas fórmulas se basan en la simplificación de que la carga del producto por m^2 de banda es la misma sobre la longitud de acumulación que cuando se desplaza con el transportador. Esto no suele ser lo habitual. En realidad, la densidad de distribución del

producto sobre la longitud de acumulación I_a será superior a la del producto transportado (puede, incluso, duplicarla o triplicarla). Dado que este valor, con frecuencia, se desconoce, es habitual utilizar el mismo valor de carga del producto para la acumulación que para el transporte. En tal caso, serán de aplicación las fórmulas citadas anteriormente. La fuerza calculada es, por lo general, demasiado baja, pero no constituye normalmente un elemento crítico en las bandas rectas. Si se conoce la carga del producto acumulado por m^2 , se propone sustituir, para un cálculo más preciso, el término m_P de la expresión $m_P \times u_P \times I_a$ por m_{Pa} .



- F'_E = Fuerza de tracción efectiva [N/m]
- m_B = Peso de la banda [kg/m²]
- m_P = Peso del producto transportado [kg/m²]
- m_{Pa} = Peso del producto acumulado [kg/m²]
- μ_G = Coeficiente de fricción banda-apoyo del deslizador
- μ_P = Coeficiente de fricción banda-producto
- I_0 = Longitud de transporte [m]
- I_a = Longitud de acumulación [m]
- h_0 = Altura de elevación [m]
- g = Factor de aceleración debido a la gravedad (9,81 m/s²); consulte los valores μ_G , μ_P en las Especificaciones del producto.

Figura 2.19 Transportadores de banda horizontal

Fuente: www.habasit.com/en/modular-belts.htm

2.2.6 Indicadores

Según CONEVAL (2010), define un indicador de desempeño como la expresión construida a partir de las variables cuantitativas o cualitativas, que proporciona un medio

sencillo y fiable para medir logros (cumplimiento de objetivos y metas establecidas), reflejar los cambios vinculados con las acciones del programa, monitorear y evaluar sus resultados.

2.2.6.1 Niveles de los indicadores

2.2.6.1.1 Estratégico

- Mide el grado de cumplimiento de los objetivos públicos y de los privados
- Contribuye a corregir o fortalecer las estrategias y la orientación de los recursos
- Incluye los indicadores de fin, propósito y aquellos de componentes que consideran subsidios, bienes y/o servicios que impactan directamente a la población o área de enfoque
- Impacta de manera directa en la población o área de enfoque

2.2.6.1.2 Gestión

- Mide el avance y logro en los procesos y actividades, es decir, sobre la forma en la que los bienes y/o servicios públicos son generados y entregados
- Incluye los indicadores de actividades y aquellos de componentes que entregan bienes y/o servicios para ser utilizados por otras instancias

2.2.6.2 Dimensión de los indicadores

- Eficacia: Mide el nivel de cumplimiento de los objetivos
- Eficiencia: Busca medir qué tan bien se han utilizado los recursos en la producción de resultados.
- Calidad: Busca evaluar atributos de los bienes o servicios producidos por el programa respecto a normas o referencias externas
- Economía: Mide la capacidad para generar y movilizar adecuadamente los recursos financieros

2.3 Hipótesis

2.3.1 Preguntas de investigación

2.3.1.1 Pregunta general

- ¿Con el diseño de la máquina automática se logrará mejorar el proceso de clasificación de acuerdo al calibre del limón sutil?

2.3.1.2 Preguntas específicas

- ¿Cómo se seleccionará los elementos mecánicos que intervienen en la transmisión de potencia de la máquina?
- ¿Cuál será el diseño eléctrico y electrónico necesario para garantizar la correcta clasificación automática?
- ¿Cuál será el algoritmo de adquisición y procesamiento digital de imágenes para el diseño de la máquina automática?

2.3.2 Definición y operacionalización de las variables

Tabla 2.2: Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Diseño de una máquina automática (variable independiente)	Es una combinación de hardware y software, que permiten capturar una imagen y aplicarle una serie de técnicas, que ayudan a transformar y sustraer información importante, con la finalidad de que es sistema tome una decisión (Vargas, 2010).	Mecánica	Realizar el diseño mecánico de la máquina Automática	Eficiencia	Razón
		Electrónica	Realizar el diseño electrónico de la máquina automática	Eficiencia	Razón
Clasificación del limón sutil de acuerdo al calibre (variable dependiente)	Es un proceso en el cual se requiere de una regla de decisión, conocida como el criterio de clasificación, para clasificar los productos de los demás grupos, (Zulma ,2005).	Algoritmo	Se clasificará el limón sutil de calibre tipo A, B, C y D tomando como referencia la Norma técnica peruana del limón (NTP 001.006 2005).	Error de clasificación	-Razón

Fuente: Propia

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque y diseño

Esta investigación tiene un enfoque mixto porque se dimensionan las partes mecánicas y electrónicas de la máquina, así mismo se tiene que seleccionar los materiales y especificaciones de los componentes electrónicos.

El diseño de esta investigación se considera no experimental, porque no se manipula la variable dependiente.

3.2 Sujetos de la investigación

El sujeto de investigación es la máquina automática

3.3 Métodos y procedimientos

El método de la investigación es deductivo, debido a que se parte de lo general a lo específico, para centrarse en la clasificación según tamaño del limón sutil. En este proceso se inició de la teoría recolectada en las referencias bibliográficas de la visión artificial y de investigaciones realizadas por otros investigadores que pueden ser aplicados en el proyecto de investigación.

Se realizó un análisis y diseño de las partes mecánicas y determinación de sus componentes, un análisis electrónico. Pasos:

1. Se recopiló y se clasificó información sobre los tipos de máquinas clasificadoras de productos.
2. Se identificó los requerimientos

Requerimiento mecánico:

- ✓ Dimensiones de la máquina automática: 1.7m x 1.6m x 2.42m
- ✓ Capacidad de procesamiento de la máquina automática : 60 u/s

Requerimiento eléctrico-electrónico:

- ✓ Alimentación monofásica : 220VAC
- ✓ Placa arduino atmega 2560
- ✓ Laptop 2GB RAM y procesador 2. 16GHz
- ✓ Cámara digital CMOS, resolución mínima 256*256 pixeles

Requerimiento de control:

- ✓ El algoritmo desarrollado para el procesamiento de imágenes de la máquina debe ser capaz de clasificar al limón sutil, en Calibre A, B, C o D según norma técnica peruana.
- ✓ La máquina debe ser capaz de funcionar en tiempo real

3. Se calculó ,se seleccionó y se diseñó los elementos mecánicos de la máquina

En la figura 3.1 se puede apreciar el diseño de la máquina automática, esta constó de un sistema de recepción de producto, soporte principal, sistema de transmisión de potencia mecánica, sistema de procesamiento de imagen, sistema de actuación y sistema de clasificación.

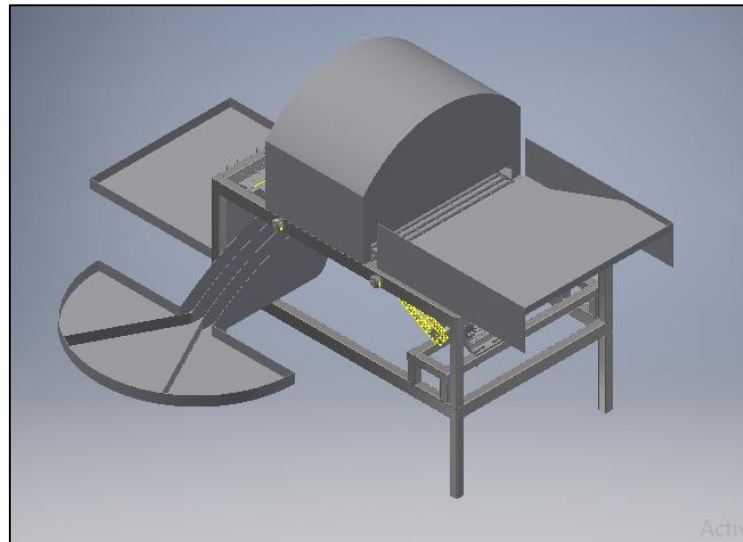


Figura 3.1 Máquina clasificadora automática de limón sutil

Fuente: Propia

A. Sistema de recepción de producto

Se diseñó una tolva (0.2m x 0.75m x0.76m) suficiente para la recepción del producto y poder seguir hacia el sistema de procesamiento. Ésta se diseñó con una inclinación de 20° para que la caída hacia la faja sea lenta y la elección del material a utilizar es el fierro, debido a su bajo costo frente a los demás metales como es el caso del aluminio o acero inoxidable. Los detalles se visualizan en la figura 3.2.

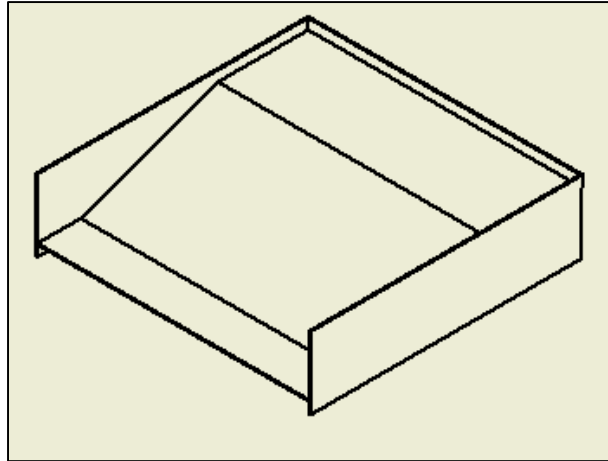


Figura 3.2 Tolva de recepción

Fuente: Propia

B. Soporte principal

En la selección del tipo de metal del soporte se encontró con acero inoxidable, aluminio u otro metal en consideración, pero debido a que no se tiene contacto directo con el alimento y bajo costo, se eligió como material un ASTM A 36.

Se diseñó un soporte principal de acuerdo al establecido en los requerimientos (1.2m x 0.8m x 0.8m), aquí se sostienen todos los demás elementos, los detalles se muestran en la figura 3.3.

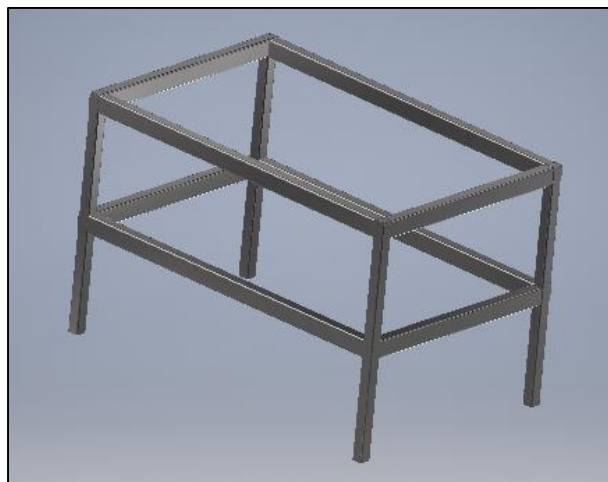


Figura 3.3 Soporte principal

Fuente: Propia

C. Sistema de transmisión de potencia

El sistema de transmisión de potencia se diseñó para transportar 50 limones como mínimo en su faja de rodillos y lograr una velocidad de 0.4 m/s para poder realizar el procesamiento de la imagen de manera adecuada.

Tomando como referencia la tabla ANSI para cadenas (Sigley, 2008), se seleccionó para el diseño una cadena número 50 por su paso ya que se necesitó de dos eslabones para procesar un limón, sus características son.

- ✓ Paso 15.88mm(0.625pulg)
- ✓ Resistencia mínima a la Tensión (21700N)
- ✓ Peso promedio $w_p = 10.1 \text{ N/m}$

D. Diseño de rodillo de faja

Se sabe que mínimo se debe utilizar dos eslabones para poder procesar un limón, se consideró un rodillo de diámetro 25mm. En la figura 3.4 se aprecian los detalles de la faja.

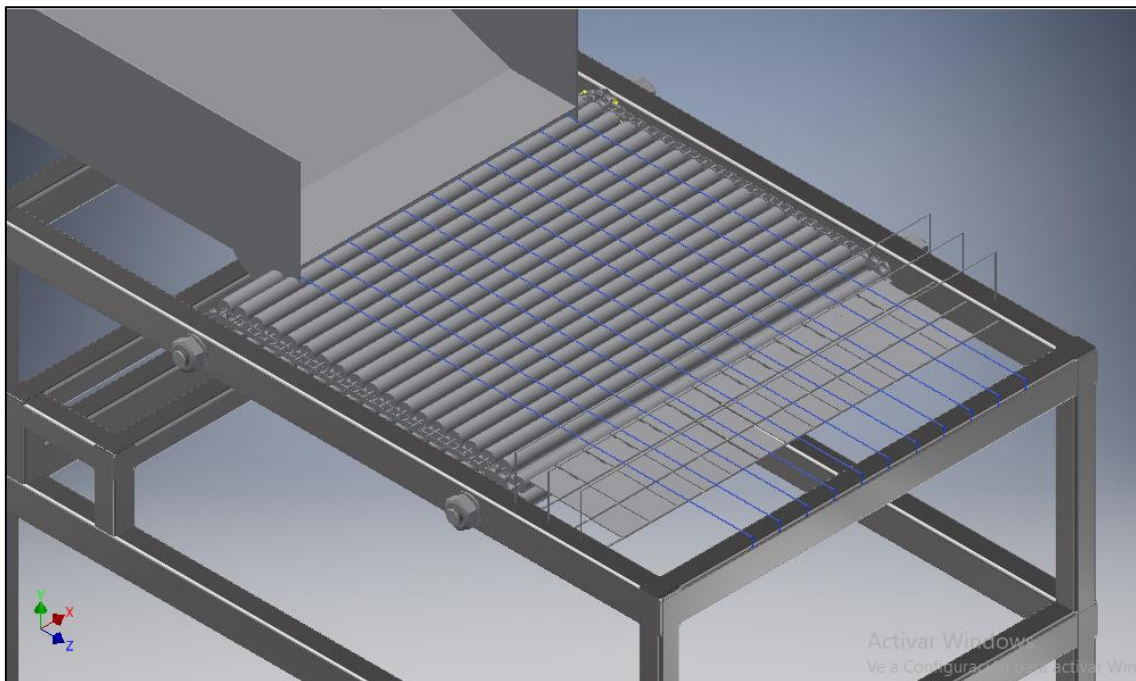


Figura 3.4 Sistema de transmisión de potencia (Faja de rodillos)

Fuente: Propia

E. Cálculo de tamaño de cadena 1

$$D_{ext}=83 \text{ mm} \quad D_{prim}=76.36 \text{ mm}$$

$$L_{c1} = 1.57(D_p + d_p) + 2C_1 + \frac{(D_p - d_p)^2}{4c_1}$$

$$L_{c1} = 1.57(76.36 + 76.36) + 2(500) + \frac{(76.36 - 76.36)^2}{4 * 500}$$

$$L_{c1} = 1240 \text{ mm}$$

F. Cálculo de tamaño de cadena 2

$$L_{c2} = 1.57(D_p + d_p) + 2C_2 + \frac{(D_p - d_p)^2}{4c_2}$$

$$L_{c1} = 1.57(76.36 + 76.36) + 2(360) + \frac{(76.36 - 76.36)^2}{4 * 360}$$

$$L_{c2} = 960 \text{ mm}$$

Luego se calculó el número de eslabones para cada cadena (paso=15.88mm) , ver figura 3.5.

$$N_{p1} = \frac{L_{c1}}{15.88} = \frac{1240\text{mm}}{15.88\text{mm}} = 79 \text{ u}$$

$$N_{p2} = \frac{L_{c2}}{15.88} = \frac{960\text{mm}}{15.88\text{mm}} = 61 \text{ u}$$

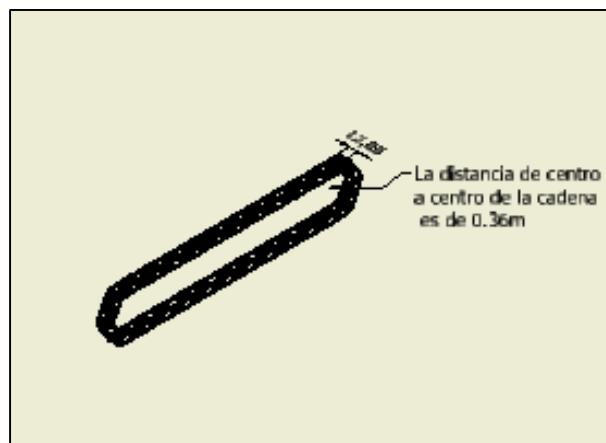


Figura 3.5 Sistema de transmisión de potencia (cadena)

Fuente: Propia

G. Cálculo de cantidad de rodillos

Como el número de eslabones fue de 79 u , seguido se calculó el número de rodillos:

$$79/2 = 39.5 \text{ (Nr).}$$

El resultado del cálculo fue de 40 u de rodillos.

H. Cálculo de potencia de motor

Cálculo de potencia para el motor Principal:

$$P = F_t * V$$

P=Potencia (N.m/s) F_t =Fuerza total(N) V=Velocidad (m/s)

Masa de cada rodillo:

$$Mr = \pi \frac{(de - (de - 2e)^2)}{4} * L * d$$

de=Diámetro exterior e=espesor L=longitud

d=densidad=7850Kg/m³

$$Mr = \pi \frac{(25 * 10^{-3} - (25 * 10^{-3} - 2 * 2 * 10^{-3})^2)}{4} * 650 * 10^{-3} * 7850$$

$$Mr = 0.74Kg$$

Peso total de rodillos fue de:

$$Wr = Mr * g * Nr = 0.74Kg * \frac{9.8m}{s^2} * 39 = 282.83N$$

Peso de Cadena uno:

$$Wc1 = Wp * Lc1 = 10.1N/m * 1.24m = 12.52N$$

Peso de Cadena dos:

$$Wc2 = Wp * Lc2 = 10.1N/m * 0.96m = 9.7N$$

Peso de limones (ml=1Kg, tomando como referencia la NTP de 20 limones)

$$Wl=1/2Kg*9.8=4.4N.9$$

Entonces, la fuerza total fue de :

$$Ft=Wr+Wc1+Wc2+Wl=283.83N+12.52N+9.7N+4.9N=310N$$

Se Calculó la Potencia mínima requerida y se obtuvo:

$$P=Ft*V=334.5N*0.40m/s=167.25Nm/s, \text{ convirtiendo a Hp : } 0.17Hp.$$

Entonces se determinó un motor de las siguientes características (Código de referencia: 25360S1PA56). El criterio de selección que se tomó en cuenta fue la potencia requerida, el tipo de arranque. Este cuenta con un tipo de arranque suave y una eficiencia nominal mayor al 52%.

- ✓ Marca Siemens
- ✓ Potencia: 1/4 HP
- ✓ Velocidad: 1050-1425 rpm
- ✓ Armazón 56
- ✓ Tensión nominal: 127 – 220 V
- ✓ Motor monofásico.

En la figura 3.6 se aprecian los detalles.

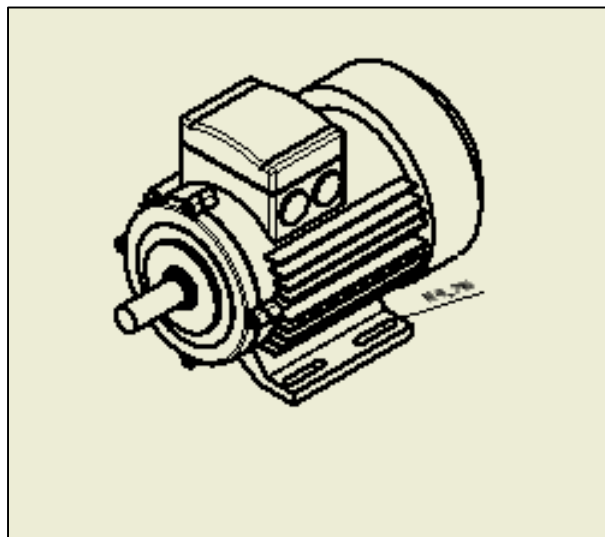


Figura 3.6 Sistema de transmisión de potencia (Motor)

Fuente: Propia

Además se diseñó un soporte para el motor y el tipo de material seleccionado ASTM A 36 .Los detalles del mismo se aprecia en la figura 3.7.

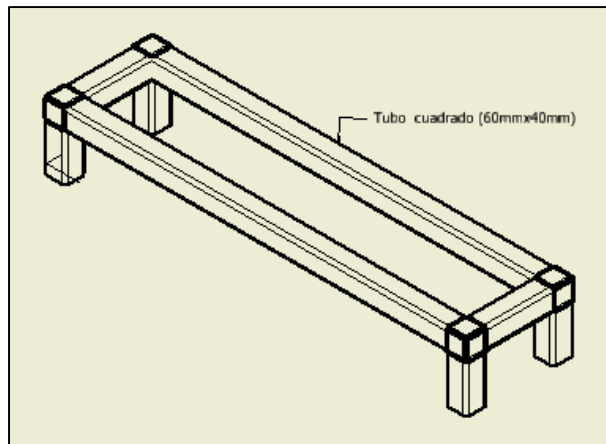


Figura 3.7 Sistema de transmisión de potencia (Soporte)

Fuente: Propia

I. Selección de piñón

Para la selección del piñón, se tomó como referencia la cadena elegida ya que debe tener el mismo paso, entonces se propuso piñones del distribuidor Martin (ver anexo 3), la elección determinó piñones dentados 10B, se consideró un piñón de 15 dientes en función del diámetro interno. En la figura 3.8 se aprecian los detalles.

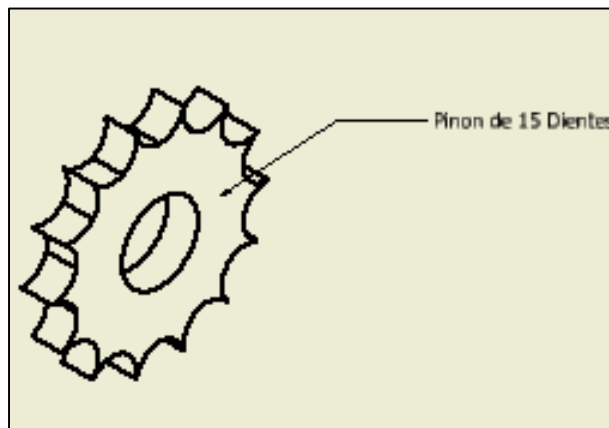


Figura 3.8 Sistema de transmisión de potencia (Piñón)

Fuente: Propia

J. Selección de rodamiento y eje

Se escogió un rodamiento de bolas rígidas en función al diámetro interno del piñón que es de 25.4mm , entonces se propuso la elección de rodamientos del catálogo de SKF por ser de buena calidad a nivel mundial, un rodamiento W61803 (ver anexo 5) de diámetro interno de 17 mm con una velocidad de referencia de 56000 rpm superior a la velocidad de referencia del motor de 1425 rpm, que finalmente este determinó el diámetro de nuestro eje (ver figura 3.9) y el tipo de material SAE 1045.

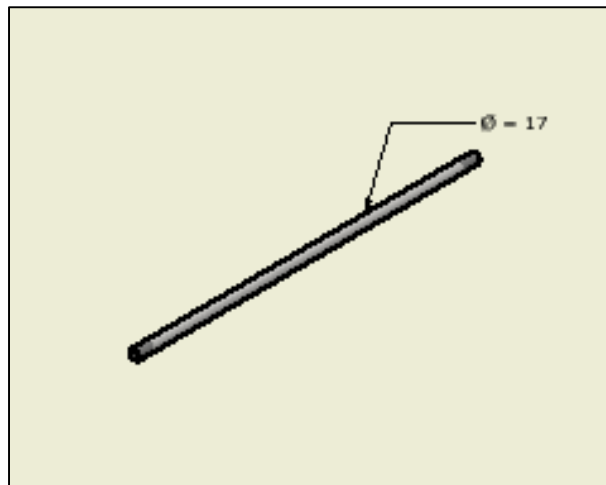


Figura 3.9 Sistema de transmisión de potencia (Eje)

Fuente: Propia

Finalmente, el sistema de transmisión de potencia constó de un motor principal de 1/4Hp que transmite su potencia a la cadena con rodillos a través de una cadena-piñón. Este ayuda a transportar el producto desde la tolva hasta el final del sistema de procesamiento.

Además de una faja de rodillos acoplada a una cadena, 4 piñones, una cadena, un motor, un soporte del motor, 2 ejes, 4 rodamientos y elementos de sujeción como son tuercas de 17 mm.

K. Soporte del procesamiento de imagen

En esta parte se diseñó una tolva según los requerimientos establecidos (0.76m x 0.5m x 0.5m) que cubre el sistema de procesamiento para ayudar a controlar la luz que es muy necesaria para la captura y procesamiento de imagen (ver figura 3.10).

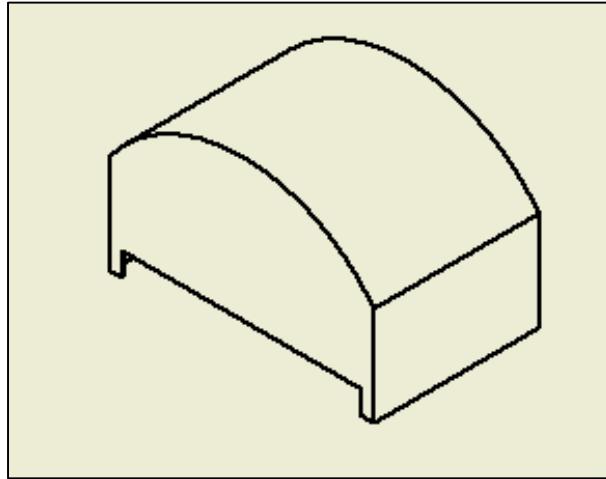


Figura 3.10 Soporte del procesamiento de imagen

Fuente: Propia

L. Sistema de actuación

Para el diseño del sistema de actuación se consideró un electroimán, este consta de una cierta cantidad de espiras enrolladas en un núcleo de hierro. Para ello se consideró un núcleo de hierro de sección transversal $A = 2\text{cm}^2$, un soporte de los 10 electroimanes, estos son sujetos con precintos.

Se diseñó un sistema de actuación para poder clasificar el producto una vez que sea procesado e identificado, consta de un sistema electromecánico (electroimán y planchita de metal, ver figura 3.11 y 3.12).

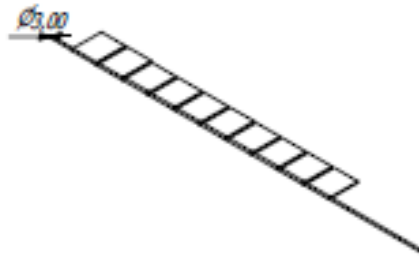


Figura 3.11 Sistema de actuación de máquina (Bisagras)

Fuente: Propia

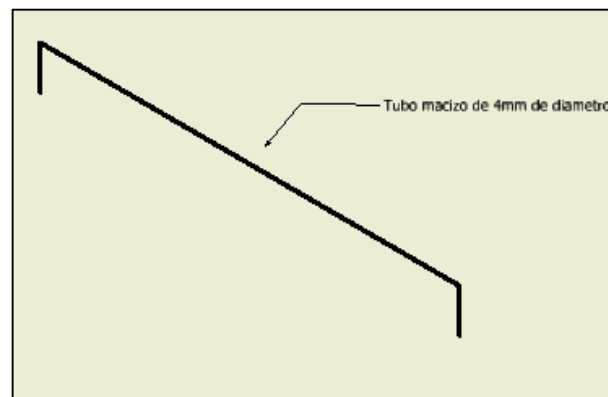


Figura 3.12 Sistema de actuación de máquina (Soporte de electroimán)

Fuente: Propia

M. Sistema de clasificación

Para el diseño del sistema de clasificación se consideró dos partes, un clasificador de calibre A (ver figura 3.13) y otro clasificador tipo B, C y D (ver figura 3.14) como un solo elemento con divisiones respectivas, esto se pueden apreciar mejor en los planos de ensamble y detalle en el anexo 1. Se optó por esta decisión debido al espacio dado como requerimiento inicial de medidas de la máquina.

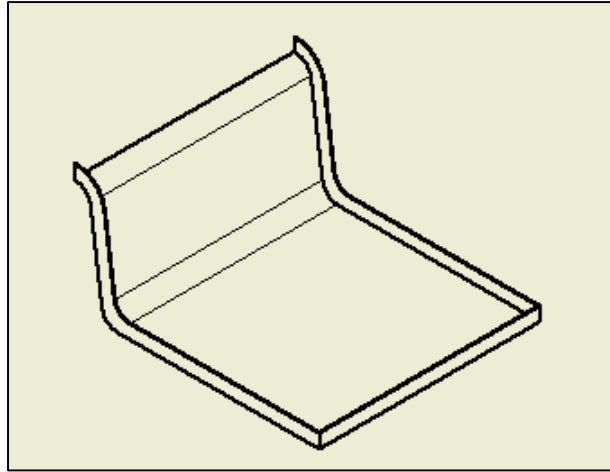


Figura 3.13 Clasificación de limón calibre A

Fuente: Propia

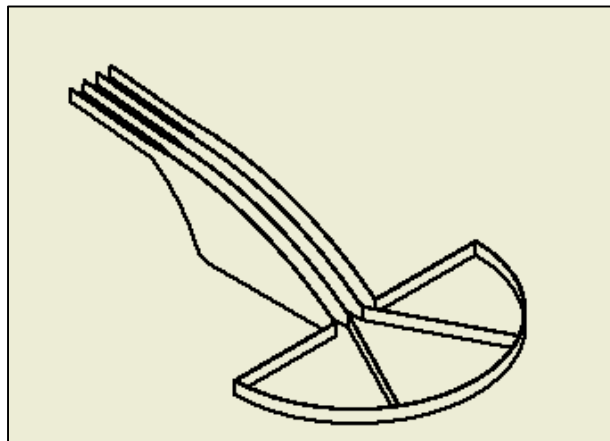


Figura 3.14 Clasificación de limón calibre B, C y D

Fuente: Propia

N. Cálculo de la capacidad de procesamiento

$$C = U / t$$

Donde:

C = Capacidad de procesamiento (u/s)

U = Unidades Producidas o procesadas

t = Tiempo (s)

Se visualizó la cantidad de limones procesados (60 limones en el caso de se ocupen los 10 carriles como máximo), según el requerimiento de la máquina que fue de 60 u/s, se calculó el tiempo necesario:

$$C = U / t$$

$$60 \text{ u/s} = 60 / t$$

$$t = 1 \text{ s}$$

Sabiendo que la distancia de centro a centro de los rodillos (30,2mm), se calculó la distancia total a recorrer (6 grupos de rodillos para los 60 limones):

$$e = 6 * 0.0302 \text{ m}$$

$$e = 0.1812 \text{ m}$$

Luego se calculó la velocidad promedio que debe operar la máquina:

$$e = v * t$$

$$0.1812 \text{ m} = v * 1 \text{ s}$$

$$v = 0.1812 \text{ m/s}$$

4. Se calculó, se seleccionó los elementos eléctricos y electrónicos (Motor, Tarjeta, Cámara, entre otros.) y se diseñó planos eléctricos y electrónicos.

A. Selección de tarjeta de control

Para seleccionar la tarjeta electrónica de control se tomó en cuenta las necesidades del proceso que es una máquina pequeña donde las condiciones de trabajo son normales y según sus características la tarjeta arduino es la más idónea, por su bajo costo y programación; además de la cantidad de señales de entrada y salida que se detallan a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Cantidad de señales

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	ITEM
1	Energizar/Desenergizar Electroimán	10	1
TOTAL		10	

Fuente: Propia

Según la tabla 3.1 se tiene 10 señales de salidas del tipo Digital que se utilizan para activar una optocoplador que a su vez energiza y desenergiza el electroimán.

Se eligió la tarjeta arduino ATMEGA 2560 debido a que es la más adecuada según las condiciones anteriores, viene lista para usar, basta con conectarla a través del puerto USB a una PC, esta no requiere programador externo.

Las características de la tarjeta se aprecian en la figura 3.15.



Figura 3.15 Placa arduino

Fuente: www.atmega.com

Características Arduino:

- ✓ Alimentación: 7 – 12 VDC
- ✓ E/S Digitales: 54 (14 son PWM)
- ✓ E. analógicas: 16
- ✓ Conexión: USB
- ✓ Oscilador: 16MHz

B. Selección de cámara digital

Para seleccionar la cámara digital se consideró la resolución de la misma, debido a que se estima una resolución mínima de 256x256 píxeles. Según este criterio de selección se eligió una cámara AP3200T-USB esta tiene una resolución de 2064x1544 píxeles, para que la imagen tomada sea de buena calidad. Además se tomó en cuenta que este dispositivo es una cámara inteligente orientada a detectar color, tamaño con triple procesador y tamaño reducido.

Las características de la cámara se aprecian en la figura 3.16.



Figura 3.16 Cámara

Fuente: <https://www.infaimon.com/producto/ap-3200t-usb/>

Características de la cámara:

- ✓ Cámara AP3200T-USB , CMOS
- ✓ Lentes: con montura C
- ✓ Tipo de comunicación: Serial USB
- ✓ Tamaño: 44x44x74 mm

C. Potencia requerida para electroimán

Características de la plancha de metal:

- ✓ Masa: 0.08Kg
- ✓ Altura: 46mm

- ✓ Ancho: 4mm
- ✓ Longitud: 57mm

Características del Electroimán a Diseñar:

- ✓ Área de contacto: (2cmx1cm)
- ✓ Ancho: 4cm
- ✓ Largo: 6cm
- ✓ N° Espiras: 2000

La fuerza del Electroimán es igual a:

$$F=4000*B^2*S$$

$$0.8 \text{ N} = 40000*B^2 * (0.004)$$

$$B=0.071 \text{ T}$$

Sabiendo que: $U_0=B / H$ y $U_0=4\pi*10^{-7}$, se calculó la intensidad de campo en el aire:

$$U_0=B / H$$

$$4\pi*10^{-7} = 0.071 / H$$

$$H=56501 \text{ AV/m}$$

Luego se determinó la fuerza electromotriz en el aire:

$$F_{\text{Aire}}=H_{\text{Aire}} * L_{\text{Aire}}$$

$$F_{\text{Aire}}=56501*0.044$$

$$F_{\text{Aire}}=2486.04 \text{ N}$$

Además se calculó la fuerza electromotriz en el Hierro:

$$F_{\text{Hierro}}=H_{\text{Hierro}} * L_{\text{Hierro}}$$

Según tabla de intensidad de campo para el hierro es de: 675AV/m

Entonces:

$$F_{\text{Hierro}}=675 * 0.164 = 110.7 \text{ N}$$

Finalmente se calculó la fuerza electromotriz total

$$F_T= F_{\text{Hierro}} + F_{\text{Aire}}$$

$$F_T= 110.7\text{N} + 2480.04\text{N}$$

$$F_T= 2590.74\text{N}$$

Después se determinó la corriente necesaria:

$$F_T = N * I$$

Donde,

N: N° de espiras

I: Intensidad de corriente Eléctrica

F_T: Fuerza electromotriz Total

$$2590.74 = 2000 * I$$

$$I = 1.3 \text{ A}$$

D. Dimensionamiento de fuente de poder de 5v

En la tabla 3.2 se describe la corriente que consume cada elemento del circuito.

Tabla 3.2: Consumo de corriente para fuente de 5V

COMPONENTE	CANTIDAD	CONSUMO (m A)	SUBTOTAL(m A)
Control digital de arduino	10	50	500
Relé de 5V	10	20	200
Optocoplador	10	50	500
TOTAL			1200

Fuente: Propia

Según la tabla 3.2 la fuente debe ser de 1.2 A como mínimo, por lo que se seleccionó una fuente de 5V DC-2 A.

E. Dimensionamiento de fuente de poder de 24v.

En la tabla 3.3 se describe la corriente que consume cada elemento del circuito.

Tabla 3.3: Consumo de corriente para fuente de 24V

COMPONENTE	CANTIDAD	CONSUMO (m A)	SUBTOTAL(m A)
Electroimán	10	1300	13000
Cámara Digital	1	210	210
TOTAL			13210

Fuente: Propia

Según la tabla 3.3 la fuente deber ser de 13. 21 A como mínimo, por lo que se seleccionó una fuente de 24V DC- 14A.

F. Cálculo y selección del interruptor general

Tabla 3.4: Dimensionamiento del interruptor general

DESCRIPCION	CANT.	CONSUMO (A)	SUBTOTAL(A)
Fuente de 5V	1	2	2
Fuente de 24V	1	14	14
Motor Ac	1	0.85	0.85
Variador de Velocidad	1	0.3	0.3
TOTAL			17. 15

Fuente: Propia

Por recomendación de los fabricantes los protectores electromecánicos se sobredimensionan a 125% de la corriente total instalada a proteger.

$$I=1.25 * 17. 15=21.43 \text{ A}$$

Con el dato calculado se seleccionó un interruptor unipolar de 25 A, de dos fases a 220 V-AC, por ser el valor comercial más cercano.

Lista de Componentes:

- 1 Motor 1/4Hp
- 1 Fuente de poder (220AC/24VDC)
- 1 Fuente de poder (220AC/5VDC)
- 1 Variador de frecuencia 220AC
- 1 Contactor con contacto auxiliar (220Ac-2x8A)
- Interruptor térmico (220AC-2x25A).

G. Esquemático de fuerza de la maquina

En este esquemático se diseñó el accionamiento y funcionamiento del motor, la fuente de alimentación de 24 VDC necesaria para la alimentación de la cámara digital y fuente de 5 VDC usada para energizar el arduino. Ver figura 3.17

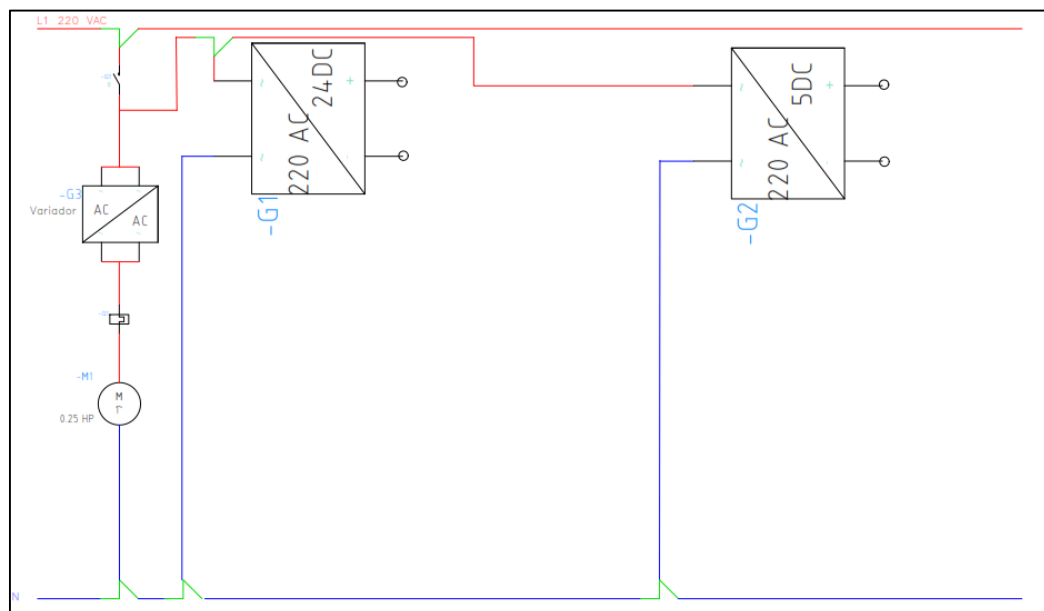


Figura 3.17 Esquema de fuerza de la máquina

Fuente: Propia

H. control de velocidad del motor

En este esquemático se diseñó un circuito para el control de velocidad del motor, ya que no existen en el mercado variadores de velocidad para motores monofásicos.

Este diagrama está comprendido con un elemento electrónico activo (Triac) y elementos electrónicos pasivos (Resistencias, condensadores). Ver figura 3.18.

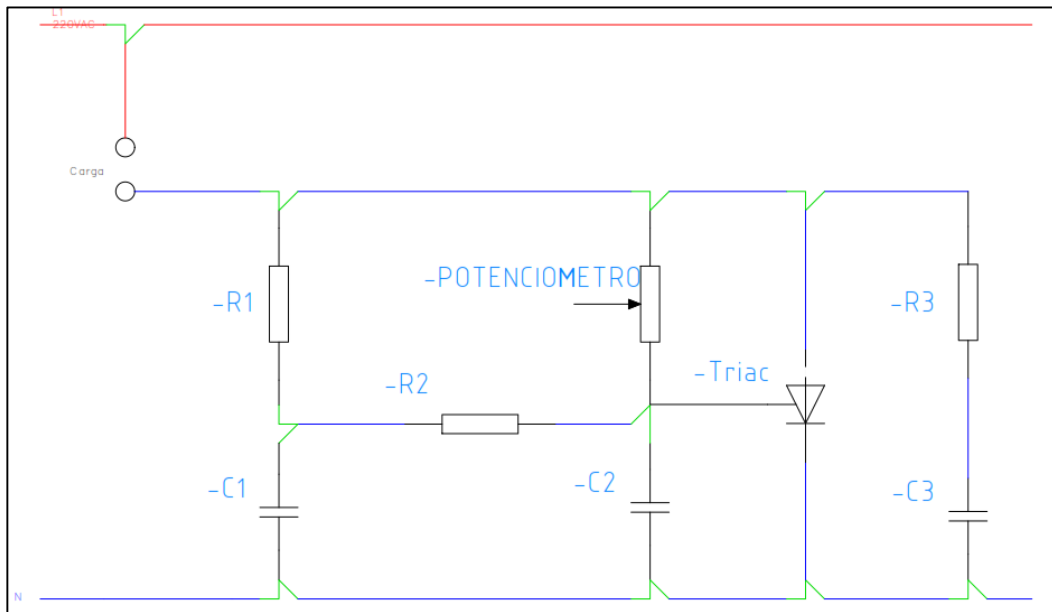


Figura 3.18 Variador de velocidad

Fuente: Propia

Lista de componentes:

- 2 resistencias de $47\text{K}\Omega$ (R1, R2)
- 1 resistencia de 100Ω (R3)
- 1 potenciómetro de 100K (P)
- 3 condensadores de $0.1\mu\text{F}$ (C1, C2, C3)
- 1 Triac NTE 5638 /400V
- 1 Disipador de calor para el triac

I. Esquemático de arranque de la máquina

En la figura 3.19 se muestra el diagrama de puesta en marcha y paro de la máquina que se diseñó, básicamente es el control del motor con un pulsador de arranque y un pulsador de parada.

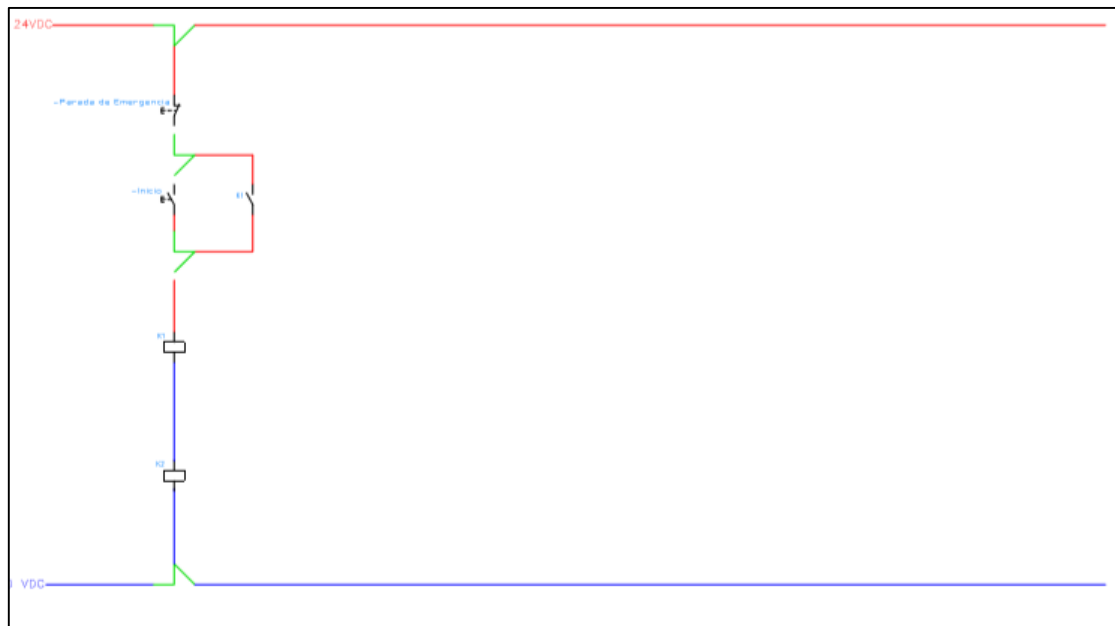


Figura 3.19 Arranque de la máquina

Fuente: Propia

Lista de Componentes:

- 2 Pulsadores
- 1 Relé de 24VDC

J. Actuación de la máquina

Este diagrama se diseñó para la actuación del sistema de la máquina, es decir después que nuestro algoritmo logre clasificar que calibre tiene el limón este sistema actuará energizando una bobina que será el electroimán.

Los detalles se visualizan en la figura 3.20.

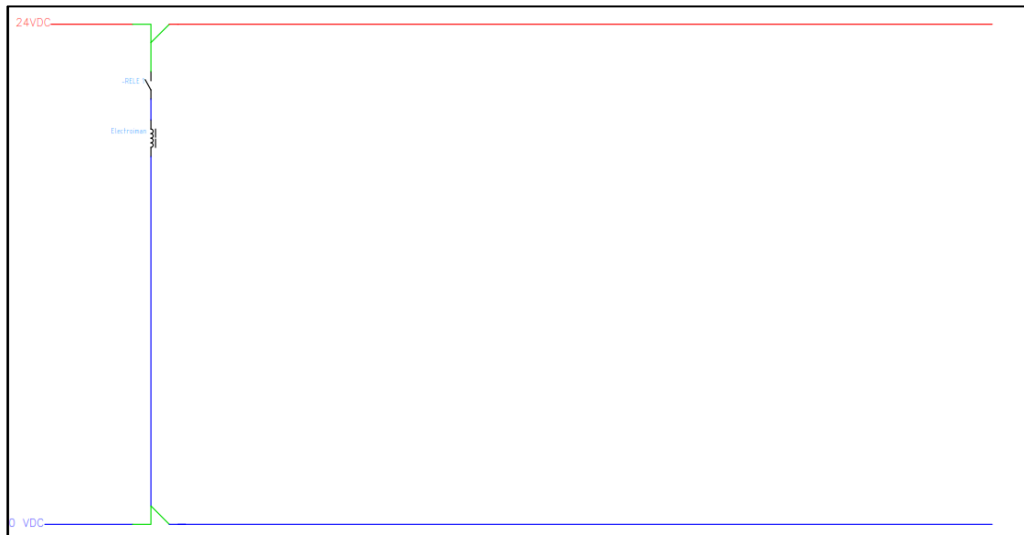


Figura 3.20 Actuación de la máquina

Fuente: Propia

Lista de Componentes:

- 1 Electroimán

K. Control de salida de arduino

Este diagrama se diseñó para adecuar la señal de salida de arduino al sistema de actuación de máquina, esto se realizó debido a que la salida de la tarjeta es una señal digital y con eso no se puede energizar el electroimán.

Lo que se procedió a realizar es aprovechar la señal digital para poder excitar un optocoplador que permite a su vez poder cerrar un circuito de relé de 5VDC.

Finalmente, el cambio de contacto de este relé de 5VDC nos permite energizar y desenergizar nuestro electroimán con 24 VDC, para ver los detalles apreciar la figura 3.21.

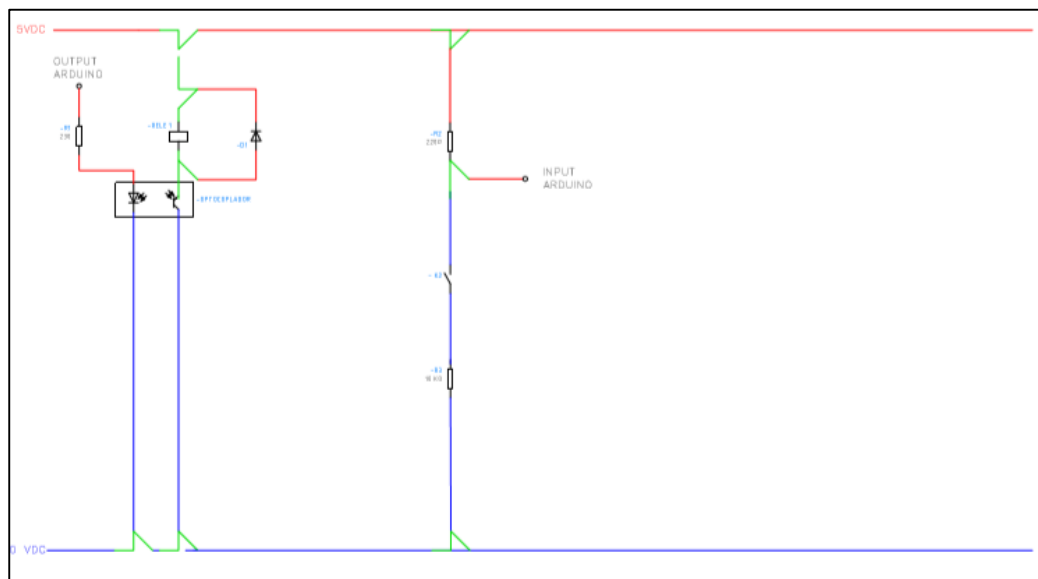


Figura 3.21 Control de Salida de arduino

Fuente: Propia

Lista de componentes:

- 1 Diodo 1N4148
- 1 Relé de 5VDC
- 1 Optocoplador PS817C
- 1 resistencia de 120Ω

5. Se diseñó el diagrama de flujo de adquisición y procesamiento digital de imágenes

En la figura 3.22 se puede apreciar el diagrama de flujo de la máquina clasificadora de limón que se diseñó. Este inicia calculando el tamaño del limón aplicando visión artificial, luego entra a una serie de condicionales para determinar el tipo de calibre y finalmente genera una señal de salida para activar un electroimán y poder terminar la clasificación.

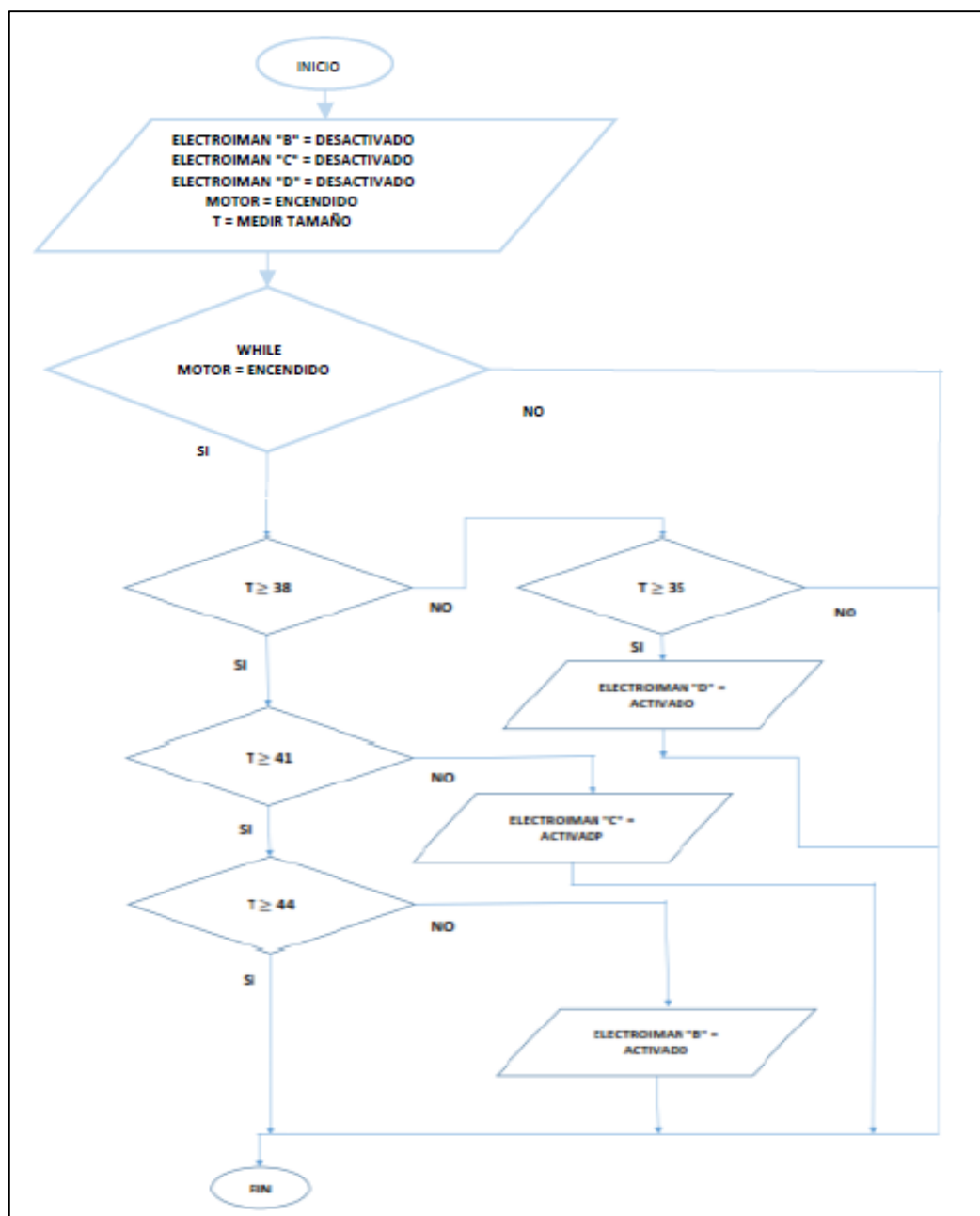


Figura 3.22 Diagrama de flujo

Fuente: Propia

A. Panel frontal

En la figura 3.23 se aprecia el panel frontal de la interfaz gráfica en tiempo real en el Software Labview que se diseñó, que consta de una etiqueta de texto que muestra el calibre del limón, un label para extraer la imagen a escala de grises y una ventana donde se muestra la imagen de la escena. Además se realizó pruebas cambiando el fondo de color blanco y fondo de color negro, resultando así que el fondo color blanco generó menos distorsión para calcular el calibre del limón.

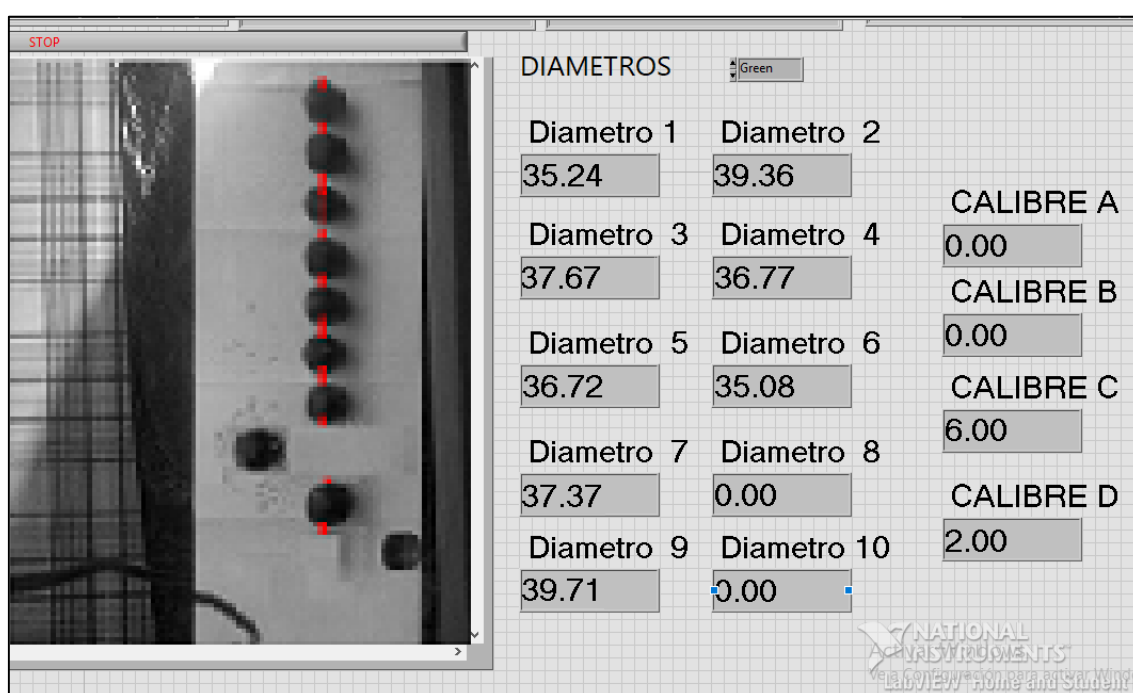


Figura 3.23 Panel frontal del algoritmo

Fuente: Propia

B. Diagrama de bloques

En la figura 3.24 se puede apreciar el diagrama de bloques de la interfaz gráfica en tiempo real en el Software Labview que se diseñó, que constó de una serie de técnicas: Se adquirió la imagen, se procesó, se decidió y finalmente se actuó a través de la tarjeta de control arduino ATMEGA 2560.

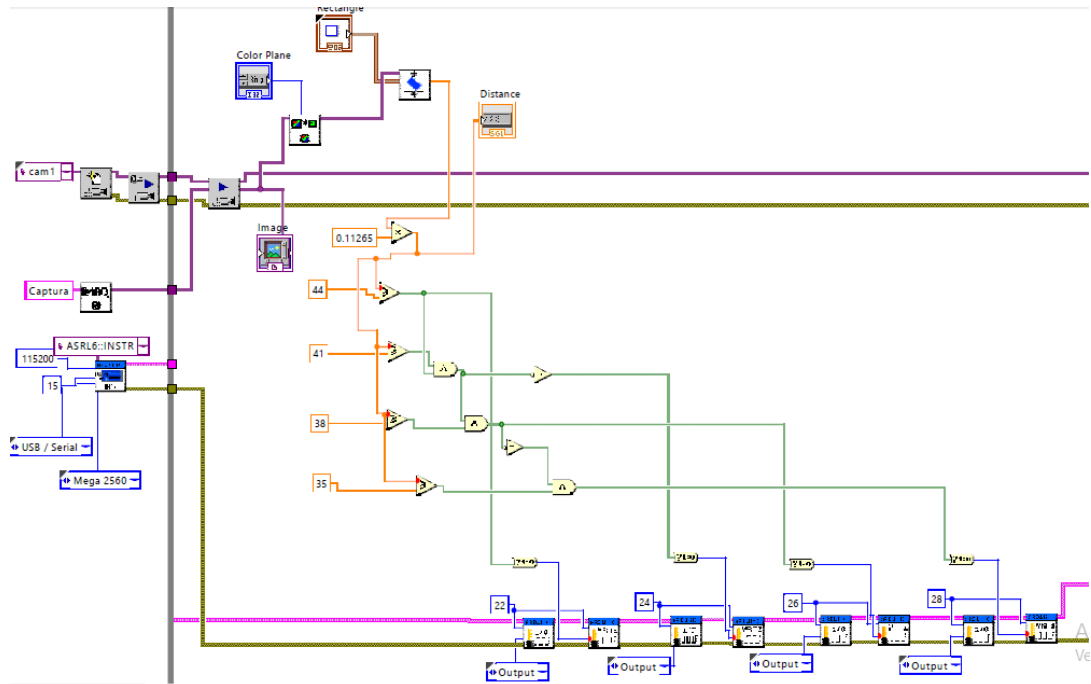


Figura 3.24 Diagrama de bloques del algoritmo

Fuente: Propia

6. Se elaboró el desarrollo y documentación de planos de ingeniería de la máquina automática

3.4 Técnicas e instrumentos

Para el procesamiento de datos (imagen del limón), se utilizó la herramienta Vision Assistant del software Labview, que emplea una técnica basada en detectar cambios de color en zonas establecidas para calcular el tamaño del limón.

También se utilizó el siguiente Software para el desarrollo de la investigación:

- Software para el diseño mecánico (Autodesk inventor)
- Software para el diseño de los planos Eléctricos y electrónicos (AutoCAD Electric)
- Software para el diseño del algoritmo de Control (Labview)

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Diseño de la máquina automática

a. Características Generales

- ✓ Capacidad de procesamiento de la máquina : 61 u/s
- ✓ Dimensiones de la máquina: 1.7m x 1.6m x 2.42m

b. Elementos principales

Tabla 4.1: Elementos principales de la máquina automática

Nombre de Pieza	Descripción	Numero de Pieza	Cantidad
Soporte Principal	Esta pieza contiene y soporta los demás elementos de la máquina sus medidas son: 0.8mx0.8x1.25m.	1 - 2 - 3	1
Piñón	Este elemento es parte del sistema de transmisión de potencia, tiene 15 dientes.	4	6
Eje	Este elemento es parte del sistema de transmisión de potencia, tiene un diámetro de 17mm y un largo de 0.86m.	5	2
Cadena de rodillos	Este elemento transporta los limones desde la recepción hasta el punto de clasificación	6	1
Tolva	En este elemento se reciben los limones a ser procesados, tiene una capacidad de 50 limones.	7	1
Motor	Este elemento proporciona la fuerza mecánica a la maquina automática tiene una potencia de 0.25Hp.	8	1
Soporte de motor	Sobre este elemento se ancla el motor.	9	1

Continuación de la tabla 4.1

Cadena 2	Este elemento es parte del sistema de transmisión de potencia.	10	1
Arandela	Es un elemento de montaje para el eje.	11	4
Tuerca	Es un elemento de sujeción para el eje	12	4
Soporte central	Es un elemento que forma parte del sistema de visión artificial , sobre este se monta la cámara digital	13	1
Riel tipo 1	Este elemento ayuda a la separación de los limones en la fila que se forma entre los dos rodillos de la faja.	14	11
Bisagras	Este elemento forma parte del sistema de clasificación. Su actuación depende del electroimán.	15	3
Clasificador A	En este elemento se reciben los limones de Calibre A	16	1
Riel tipo 2	Sobre este elemento se montan los electroimanes	17	3
Clasificador B-C-D	En este elemento se reciben los limones calibre B, C y D de manera correspondiente.	18	1

Fuente: Propia

4.1.2 Diseño eléctrico y electrónico de la máquina automática

a. Características Generales

- ✓ Alimentación de la máquina: 220VAC monofásica
- ✓ Potencia de motor: 0.25 Hp

b. Esquemáticos principales

Tabla 4.2: Esquemáticos principales de la máquina automática

Nombre de esquemático	Descripción	Número	Cantidad
Esquemático de fuerza	Este plano detalla el diseño eléctrico general de la máquina automática	1	1
Esquemático de arranque y parada de la máquina	Este plano detalla el arranque y parada de la máquina automática	2	1
Esquemático de Control – actuación de la máquina	Este plano detalla cómo se realiza el control y la actuación para la selección del limón en la máquina automática.	3	1
Esquemático de control de salida de arduino	Este plano detalla cómo se realiza el acondicionamiento de la señal proveniente del arduino para la clasificación en la máquina automática.	4	1
Esquemático de variador de motor	En este plano detalla el diseño del control de velocidad del motor	5	1

Fuente: Propia

4.1.3 Diseño del algoritmo de adquisición y procesamiento de la imagen de la máquina automática

a. Características Generales

- ✓ El algoritmo desarrollado procesa imágenes para clasificar al limón sutil, en Calibre A, B, C o D según norma técnica peruana del limón.
- ✓ La máquina funciona en tiempo real

b. Elementos principales

Tabla 4.3: Diagramas del algoritmo de control y procesamiento de la imagen

Nombre	Descripción	Anexo	Cantidad
Panel frontal	En este panel se diseñó la interfaz gráfica del sistema de visión artificial de la maquina en Labview	3	1
Diagrama de Bloques	Este panel contiene la programación del sistema de visión artificial de la maquina en diagrama de bloques del Labview.	4	1

Fuente: Propia

4.2 Discusión de los resultados

Considerando la parte mecánica del diseño de esta máquina automática en comparación al sistema de visión artificial de Sobrado (2003), se diferencia que el actuador final de la maquina automática es menos complejo en comparación al brazo robot empleado para seleccionar productos en el sistema de visión artificial. Además, en el diseño de la máquina automática se consideró una faja de tipo rodillos, esto con la finalidad de evitar el problema de que los limones se junten.

El estudio y revisión de los antecedentes con respecto al algoritmo de adquisición y procesamiento de imágenes de los diferentes sistemas visión de artificial permitieron establecer la elección y diseño de nuestro algoritmo. Podemos diferenciar que según Sandoval (2005), en su investigación utiliza redes neuronales en su sistema de visión artificial para la caracterización de café cereza, y en la máquina automática diseñada se utilizó la herramienta visión assistant del software labview que se basa en detectar cambios de color en zonas establecidas para calcular el tamaño del limón.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presenta trabajo de investigación se llegaron a las siguientes conclusiones:

- ✓ Se logró diseñar la máquina automática en base al requerimiento de capacidad de procesamiento 60 u/s. Los elementos mecánicos de la máquina se diseñaron tomando en cuenta: la capacidad de procesamiento y velocidad de la faja transportadora de rodillos 0.181 m/s. Dichos elementos se desarrollaron utilizando teorías del diseño de elementos de máquinas y el software INVENTOR.
- ✓ Los materiales de los diferentes elementos fueron seleccionados teniendo en cuenta su aplicación. Se seleccionó un ASTM A 36 para los elementos estructurales y un SAE 1045 para los ejes. Para los rodamientos se seleccionó según catálogo SKF, para los piñones se seleccionó según catálogo MARTIN.
- ✓ Considerando el diseño eléctrico y electrónico se diseñó un control para la velocidad del motor de 0.25HP monofásico, dado que en el mercado solo existen variadores para motores trifásicos, esto con la ayuda de los diferentes dispositivos electrónicos (triac, transformador, resistencia , condensadores, entre otros) existentes en el mercado. También se logró desarrollar la electrónica de control de actuación final de la máquina gracias a los diferentes dispositivos (Relé, optocoplador, resistencias, entre otros).
- ✓ Teniendo en cuenta el diseño del algoritmo de adquisición y procesamiento de imágenes de la máquina automática se concluye que el algoritmo demora menos de 1 segundo para determinar el tipo de calibre del limón según la NORMA TECNICA PERUANA DEL LIMÓN (NTP 011.006 2005). Además se determinó que tener fondo de color blanco en la escena para la captura de la imagen genera menos distorsión frente a un fondo de color negro. Con respecto a la toma de decisión del algoritmo en cuestión, se diseñó haciendo uso de la herramienta visión assistant del software labview que se basa en detectar cambios de color en zonas establecidas, el cual es una herramienta de diseño de algoritmos que simplifica el diseño del sistema de visión artificial por computadora.

RECOMENDACIONES

- ✓ Con respecto al diseño eléctrico y electrónico de la máquina se recomienda rediseñar el sistema con respecto al uso de la corriente trifásica, esto con el fin de darle un ámbito de uso más industrial. Asimismo, migrar hacia un controlador PLC.
- ✓ Con respecto al algoritmo de adquisición y procesamiento de imágenes de la máquina se puede incluir una variable más de estudio como es el caso del color del limón y realizar un estudio de factibilidad del proyecto para poder tener más atracción de mercado si se optaría por implementarse.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

COMESAÑA, P. (1997). Montaje de Instalación de Sistema de Transporte por Cinta Continua. Guía Práctica para el instalador de máquinas y equipos industriales. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?isbn=849658545X> [accesado el 20 julio de 2017]

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA DE LA COMPETENCIA Y DE LA PROTECCION DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL - INDECOPI. (2005). NORMA TECNICA PERUANA - NTP 011.006 2005. Perú. Primera Edición.

Fu et all. (1988). Control, Detección, Visión e Inteligencia. México. Primera Edición.

LÓPEZ, A. (1999). Cintas Transportadoras. Disponible en: <http://www.muchoslibros.com/es/libro-cintas-transportadoras/lopez-roaagustin/9788495312990/> [accesado el 25 julio de 2017]

QUIJADA, F. (2010). Diseño de un sistema a inspección por visión artificial enfocado a la caracterización de arroz como indicador de calidad comercial (Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional de México).
Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/10084/81.pdf?sequence=1> [accesado el 28 de julio de 2017]

SANDOVAL, Z. (2010). Caracterización y Clasificación de café cereza usando visión artificial (Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales). Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/985/1/zulmalilianasandovalnio.2005.pdf> [accesado el 30 de julio de 2017]

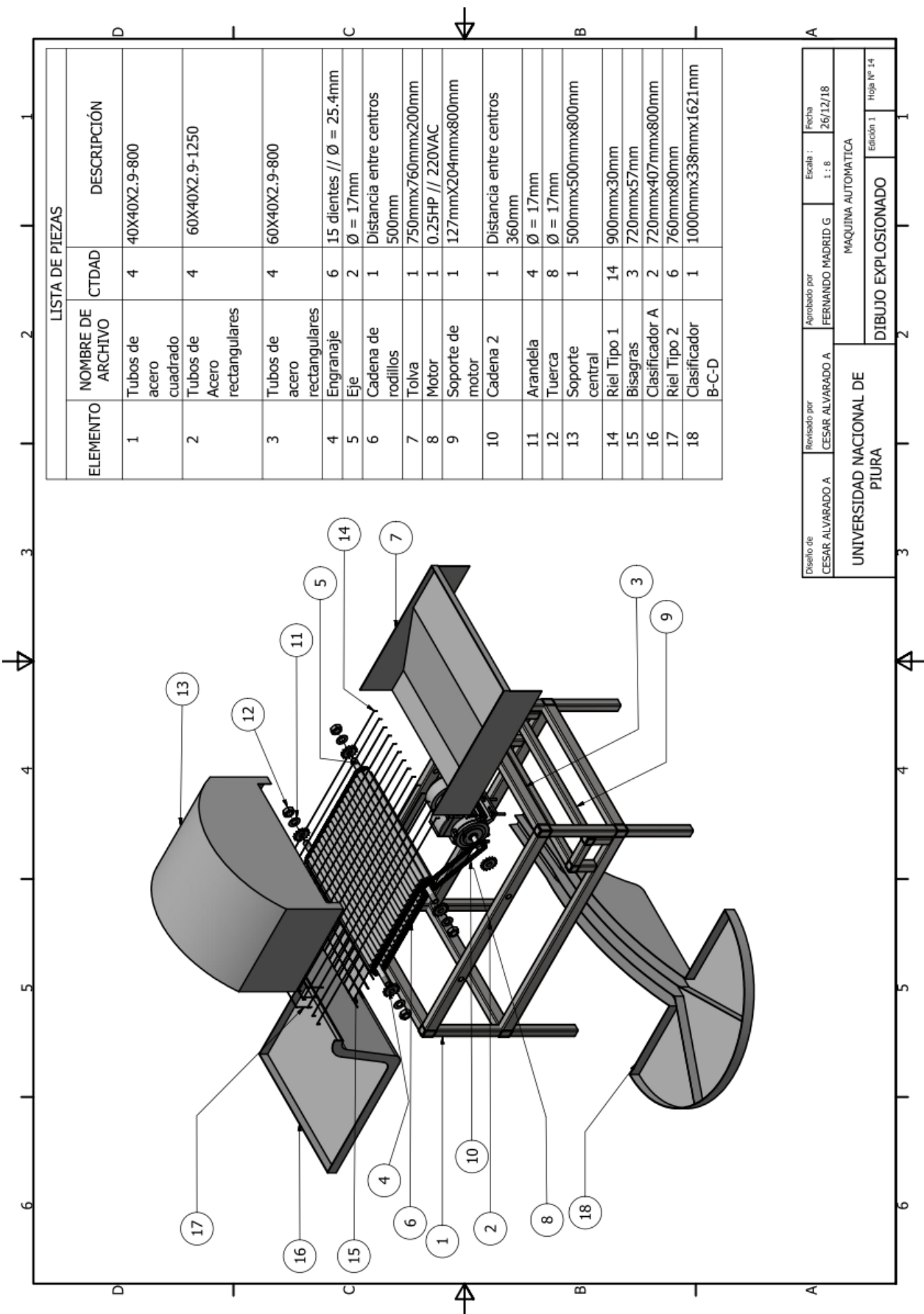
SOBRADO, E. (2005). Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot (Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú). Disponible en: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/68/SOBRADO_EDDIE_VISION_ARTIFICIAL_BRAZO_ROBOT.pdf?sequence=2 [accesado el 01 de agosto de 2017]

VARGAS, V. (2010). Sistema de visión artificial para el control de piezas cromadas (Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional de México). Disponible en: <http://www.ctrl.cinvestav.mx/~yuw/pdf/DoTesMAM.pdf> [accesado el 04 de agosto de 2017]

YONG, T. (2006). Diseño de control de calidad para el empaçado de mangos: Madurez y calidad (Tesis de grado) .Universidad Nacional de Piura, Piura.

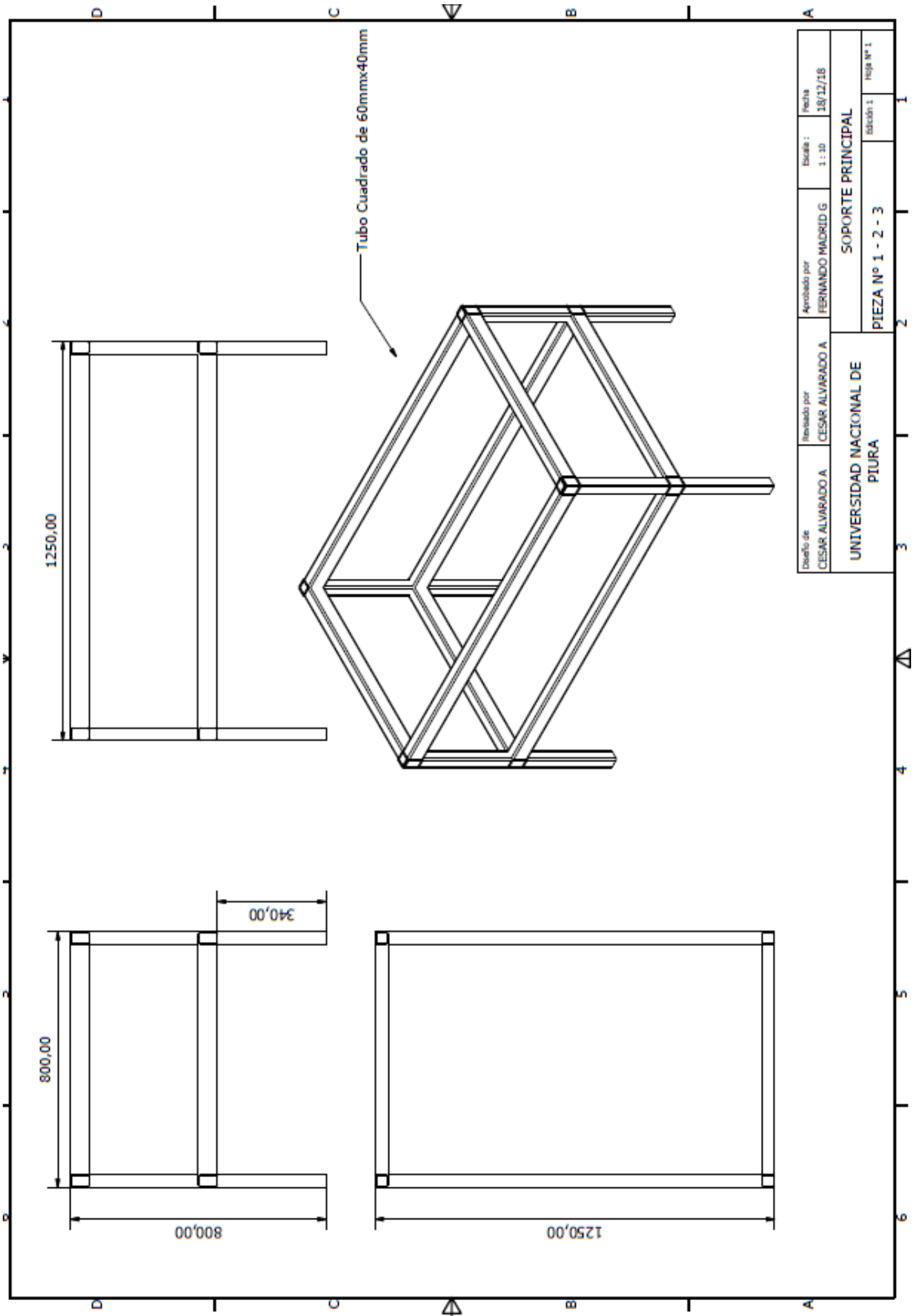
ANEXOS

ANEXO 1: PLANOS DEL DISEÑO MECÁNICO

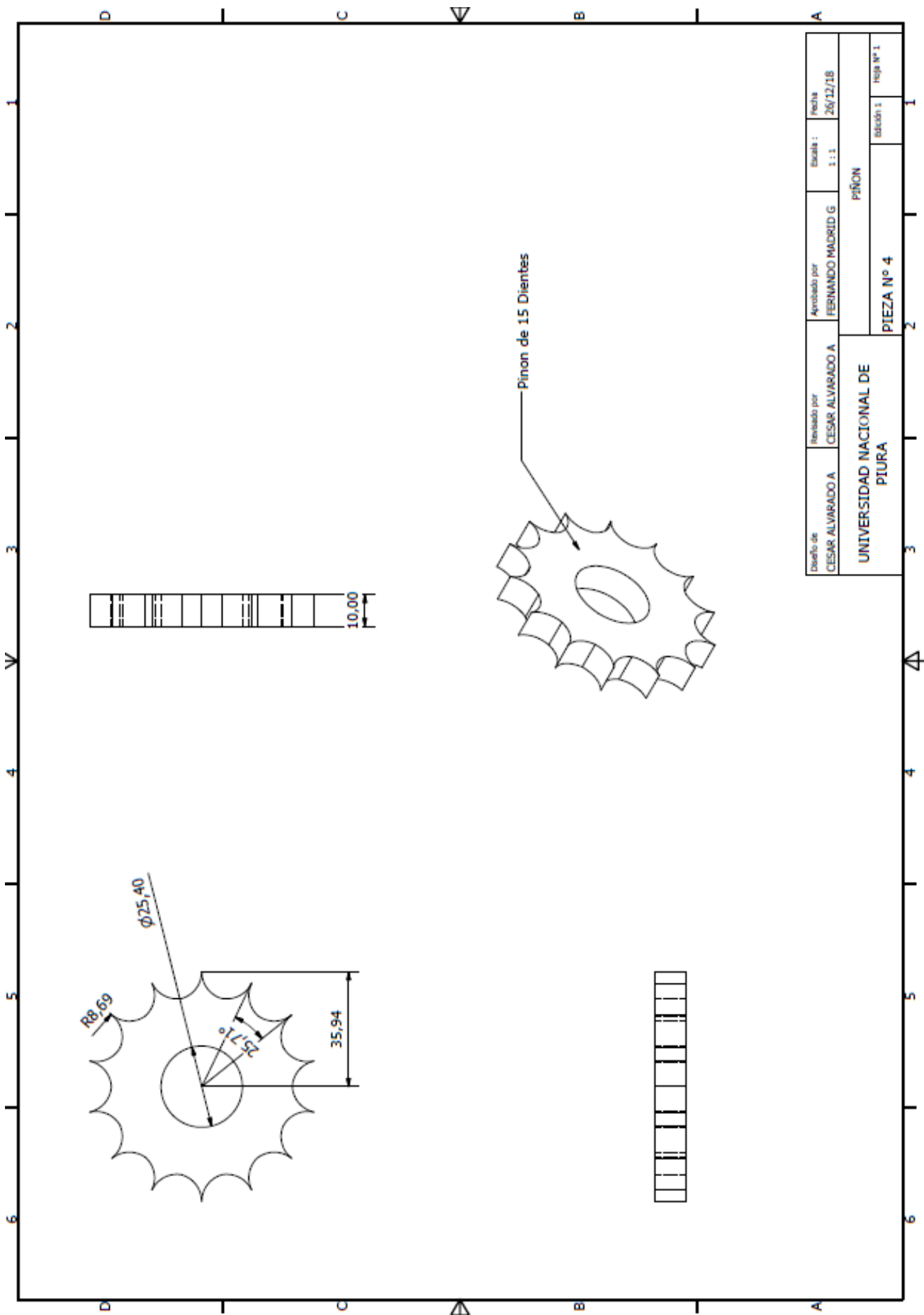


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	NOMBRE DE ARCHIVO	CTDAD	DESCRIPCIÓN
1	Tubos de acero cuadrado	4	40X40X2.9-800
2	Tubos de Acero rectangulares	4	60X40X2.9-1250
3	Tubos de acero rectangulares	4	60X40X2.9-800
4	Engranaje	6	15 dientes // $\varnothing = 25.4\text{mm}$
5	Eje	2	$\varnothing = 17\text{mm}$
6	Cadena de rodillos	1	Distancia entre centros 500mm
7	Tolva	1	750mmx760mmx200mm
8	Motor	1	0.25HP // 220VAC
9	Soporte de motor	1	127mmx204mmx800mm
10	Cadena 2	1	Distancia entre centros 360mm
11	Arandela	4	$\varnothing = 17\text{mm}$
12	Tuerca	8	$\varnothing = 17\text{mm}$
13	Soporte central	1	500mmx500mmx800mm
14	Riel Tipo 1	14	900mmx30mm
15	Bisagras	3	720mmx57mm
16	Clasificador A	2	720mmx407mmx800mm
17	Riel Tipo 2	6	760mmx80mm
18	Clasificador B-C-D	1	1000mmx338mmx1621mm

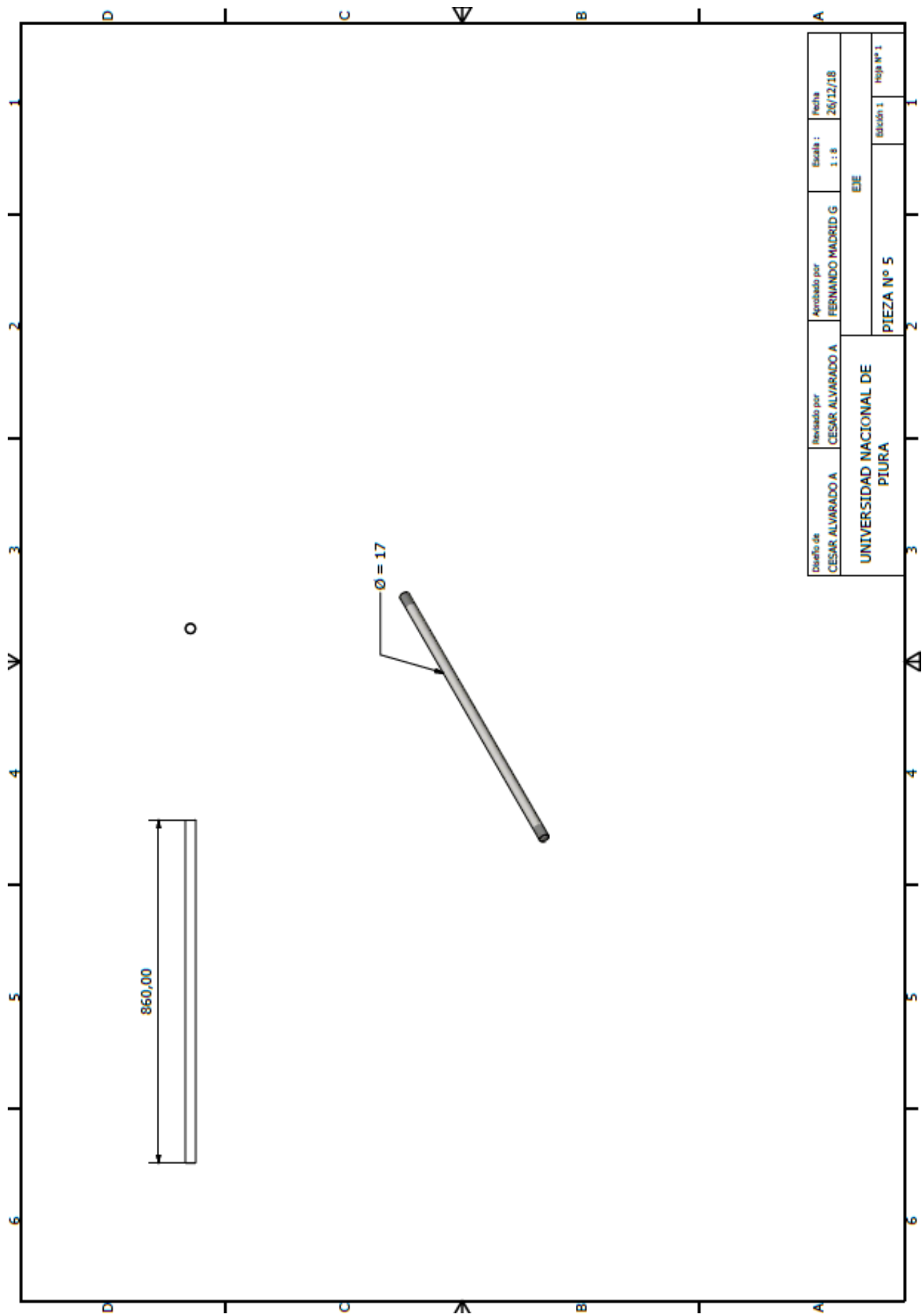
Disenio de CESAR ALVARADO A	Revisado por CESAR ALVARADO A	Aprobado por FERNANDO MADRID G	Escala : 1 : 8	Fecha 26/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA		MAQUINA AUTOMATICA		
		DIBUJO EXPLOSTIONADO		
		Edición 1		
		Hoja Nº 14		

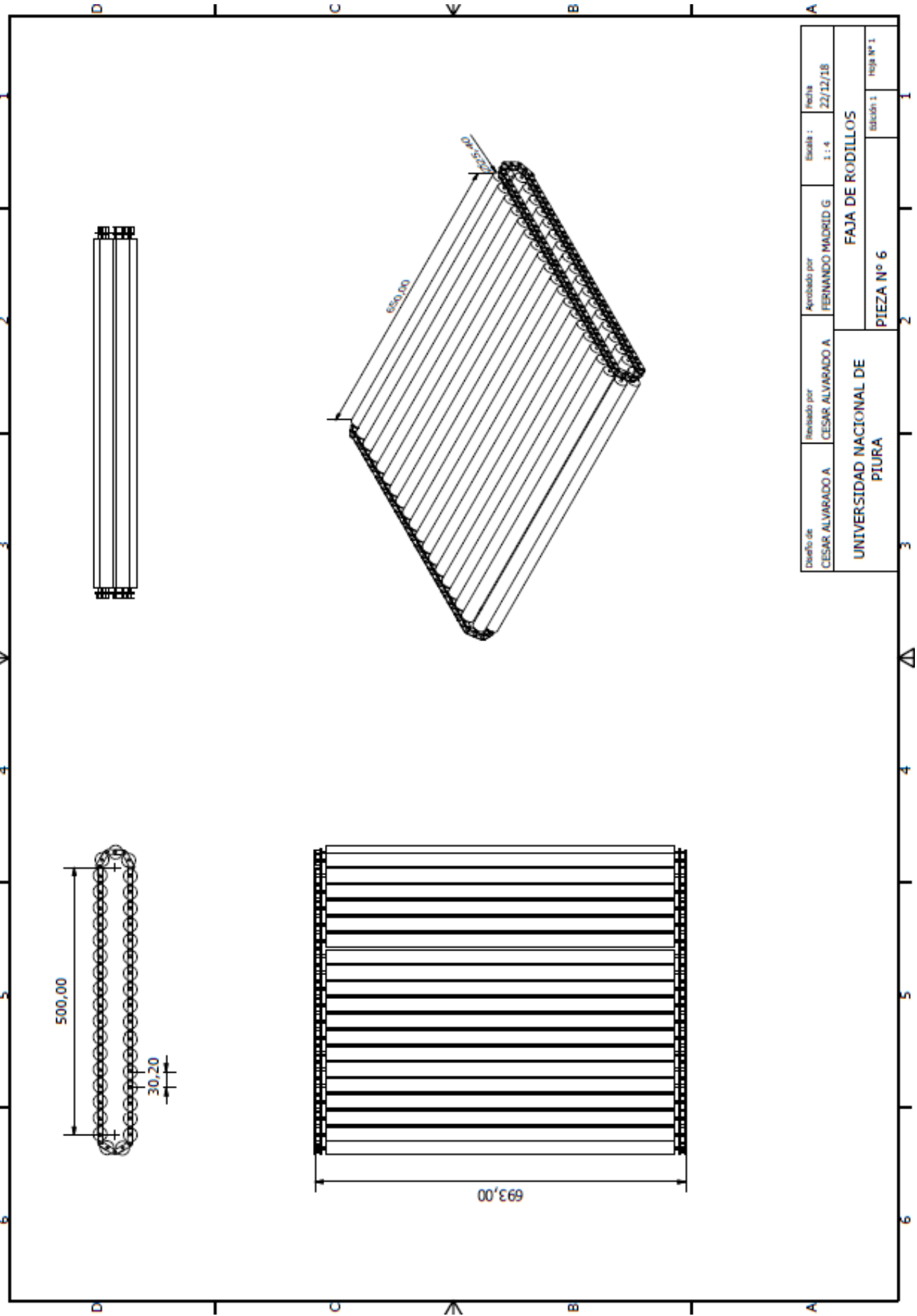


Diseño de CESAR ALVARADO A	Revisado por CESAR ALVARADO A	Aprobado por FERNANDO MADRID G	Escala : 1 : 10	Fecha 18/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA		SOPORTE PRINCIPAL		
		PIEZA N° 1 - 2 - 3		Hoja N° 1
		Edición 1		

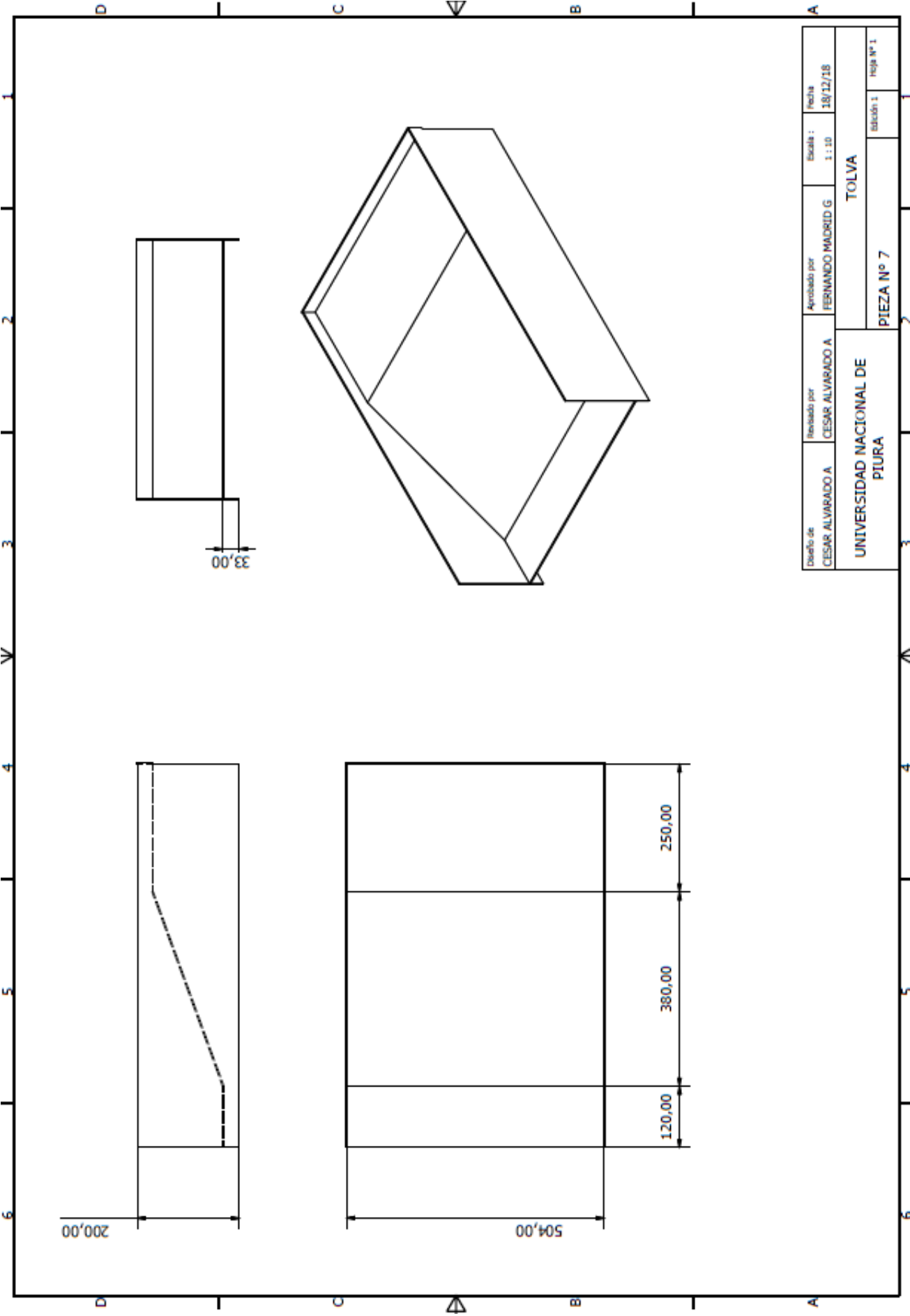


Diseño de CESAR ALVARADO A	Revisado por CESAR ALVARADO A	Aprobado por FERNANDO MADRID G	Escala : 1 : 1	Fecha 26/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA			PIEZA N° 4	
			Hoja N° 1	

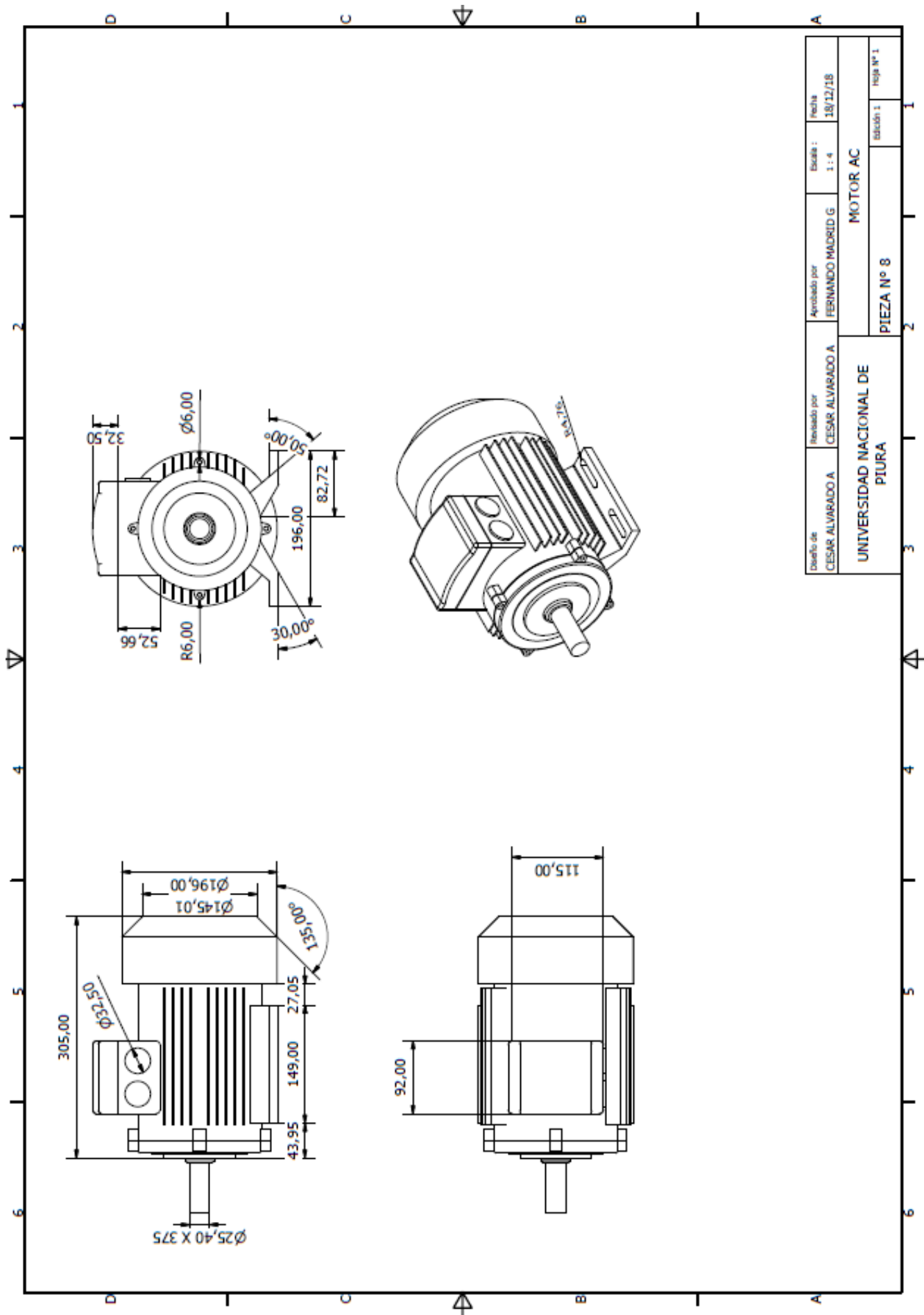




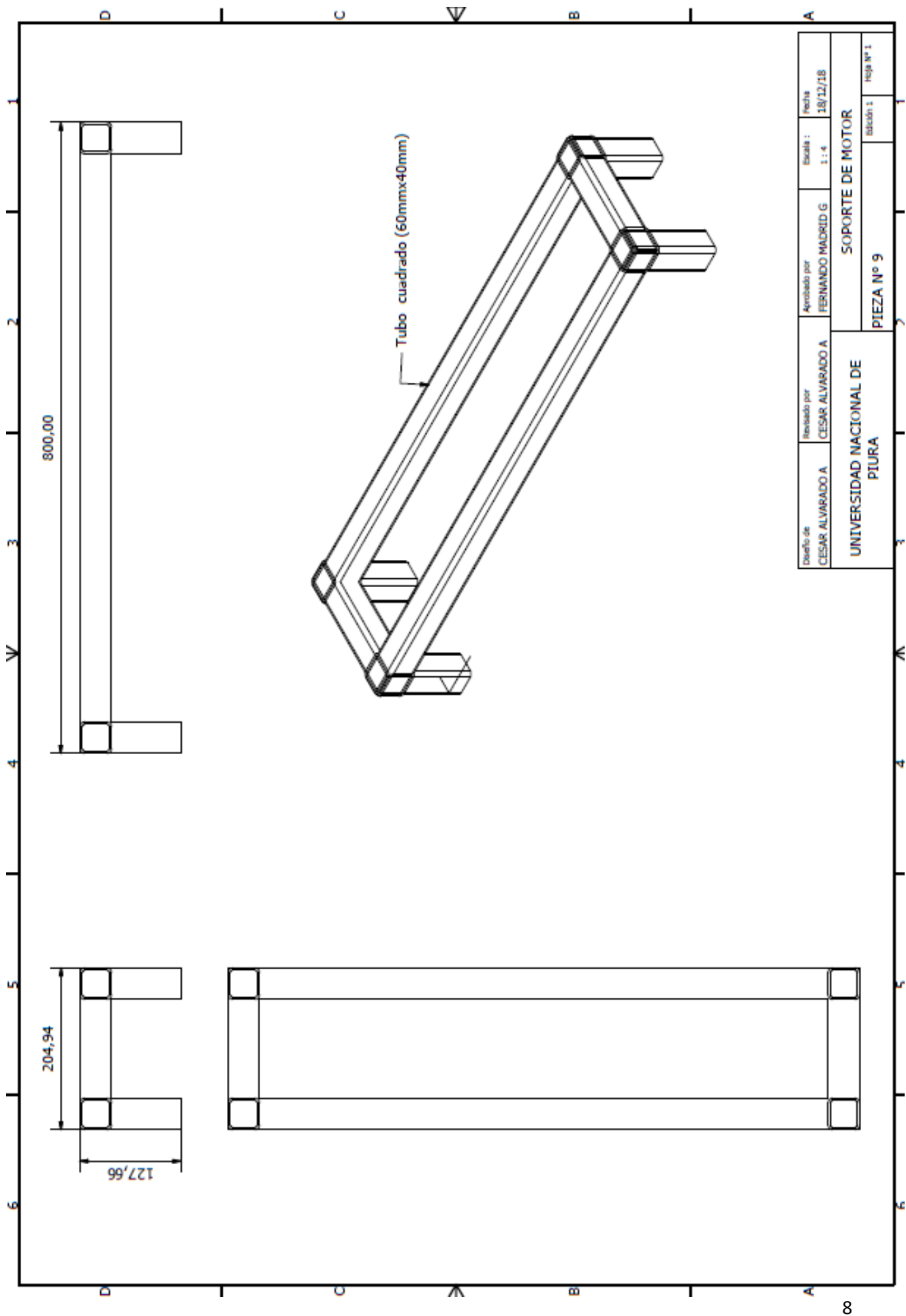
Diseño de CESAR ALVARADO A	Revisado por CESAR ALVARADO A	Aprobado por FERNANDO MADRID G	Escala 1 1 : 4	Fecha 22/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA				Hoja N° 1
FAJA DE RODILLOS				Edición 1
PIEZA N° 6				



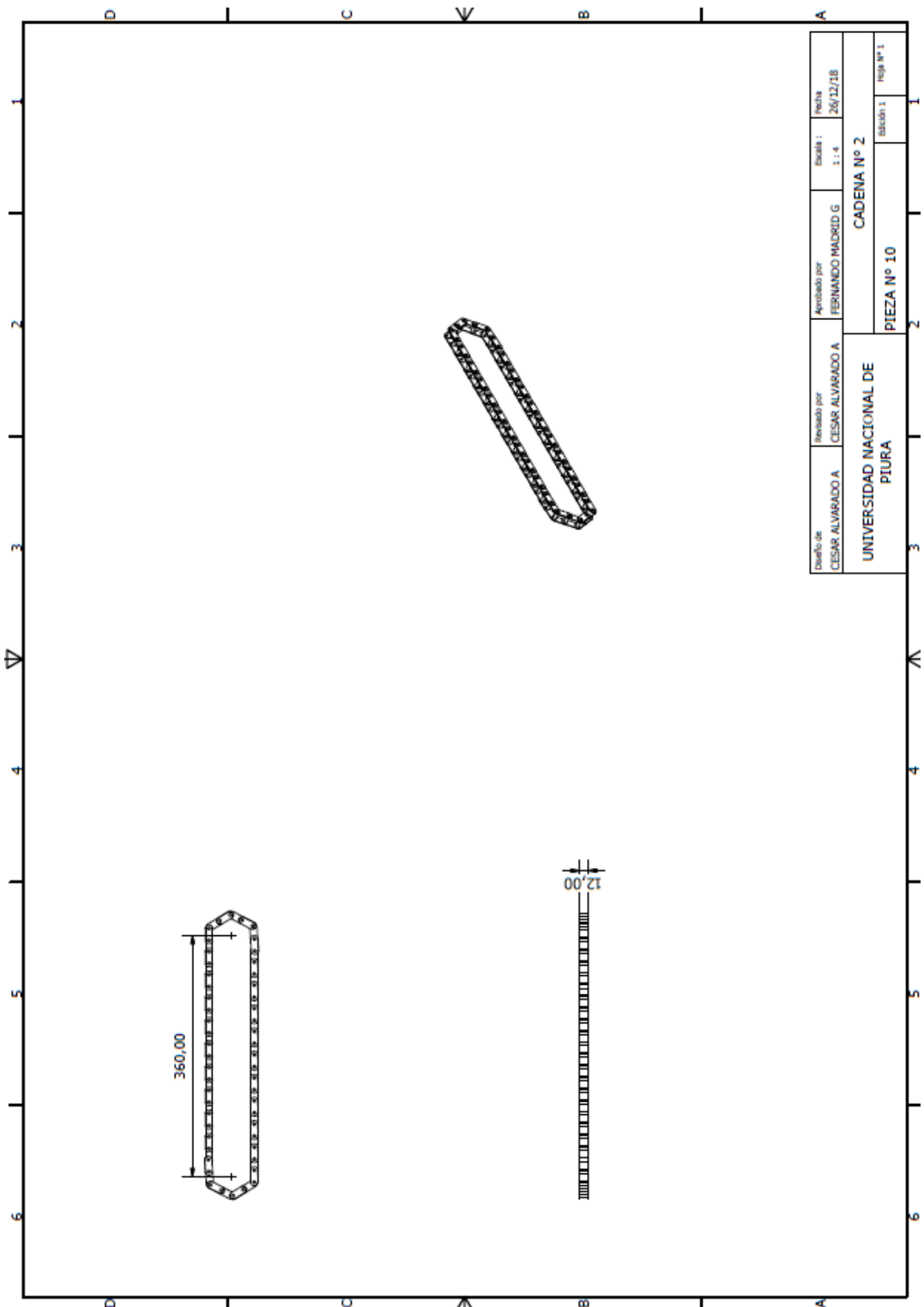
Diseño de CESAR ALVARADO A	Revisado por CESAR ALVARADO A	Aprobado por FERNANDO MADRID G	Escala : 1 : 10	Fecha 18/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA			TOLVA	
PIEZA N° 7			Edición 1	Hoja N° 1



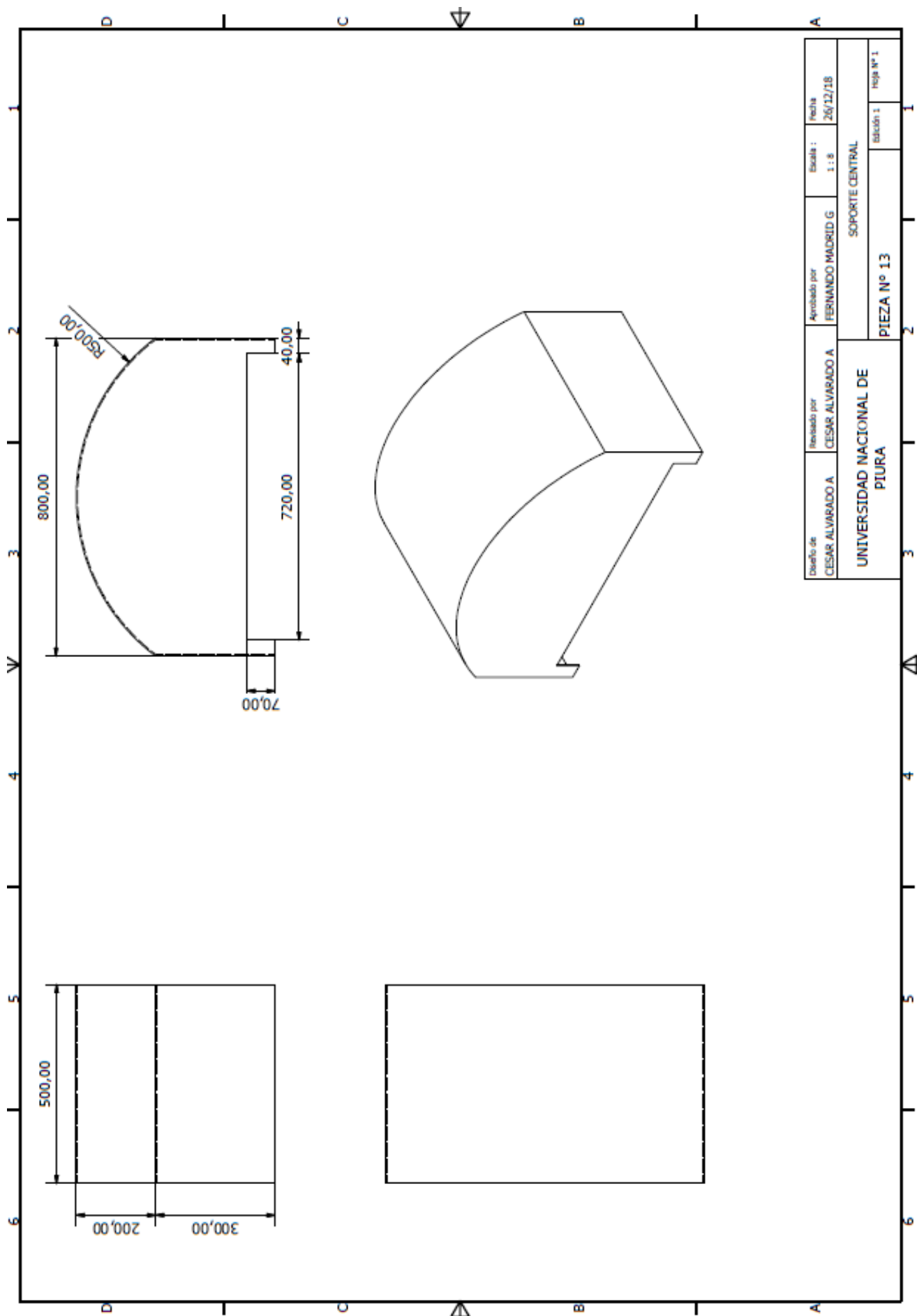
Diseño de CESAR ALVARADO A.	Revisado por CESAR ALVARADO A.	Aprobado por FERNANDO MADRID G.	Escala : 1 : 4	Fecha 18/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA		MOTOR AC		
		PIEZA N° 8	Edición 1	Hoja N° 1



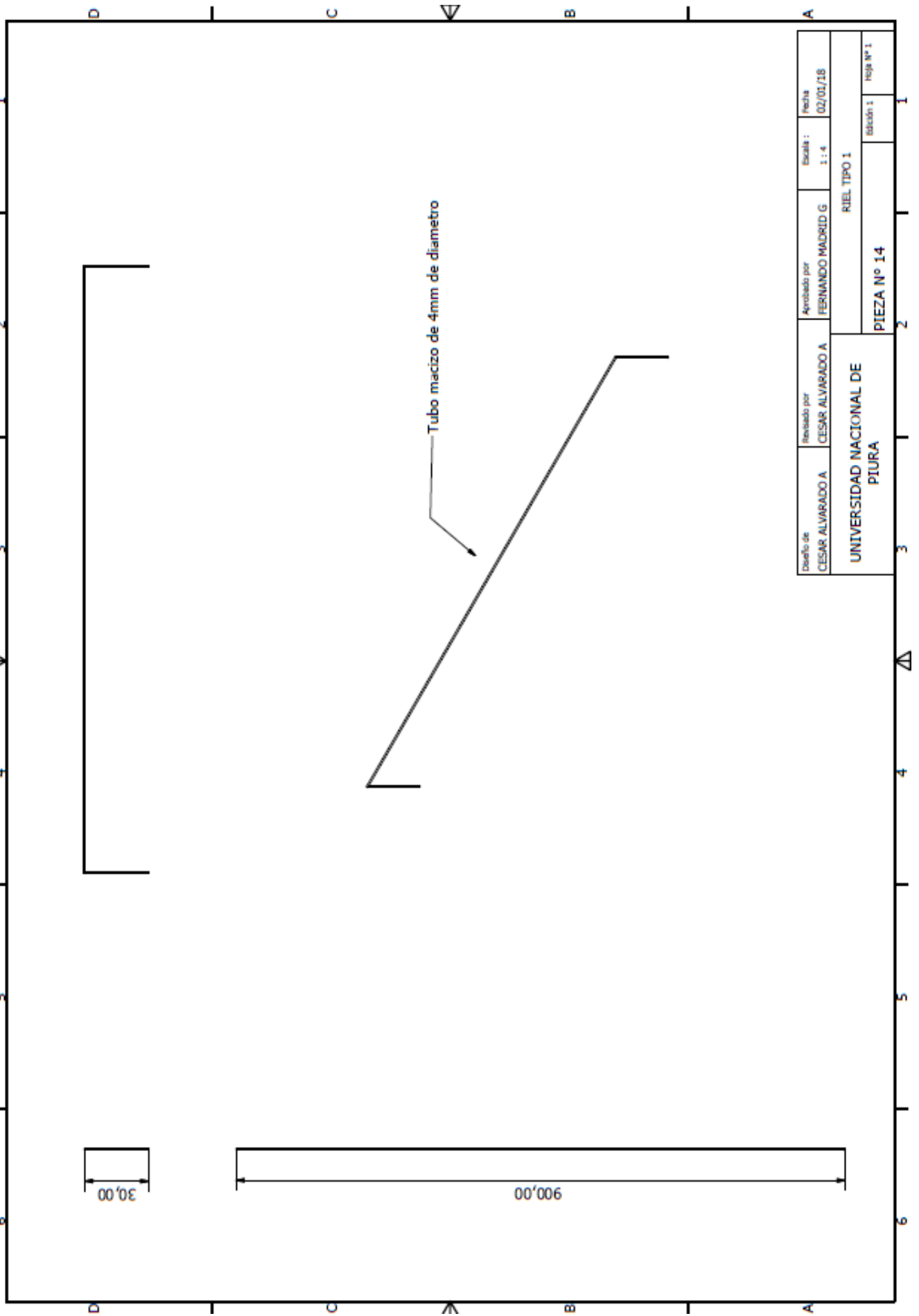
Diseño de CESAR ALVARADO A	Revisado por CESAR ALVARADO A	Aprobado por FERNANDO MADRID G	Escala : 1 : 4	Fecha 18/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA		SOPORTE DE MOTOR		
		PIEZA N° 9		
		Edición 1		
		Hoja N° 1		

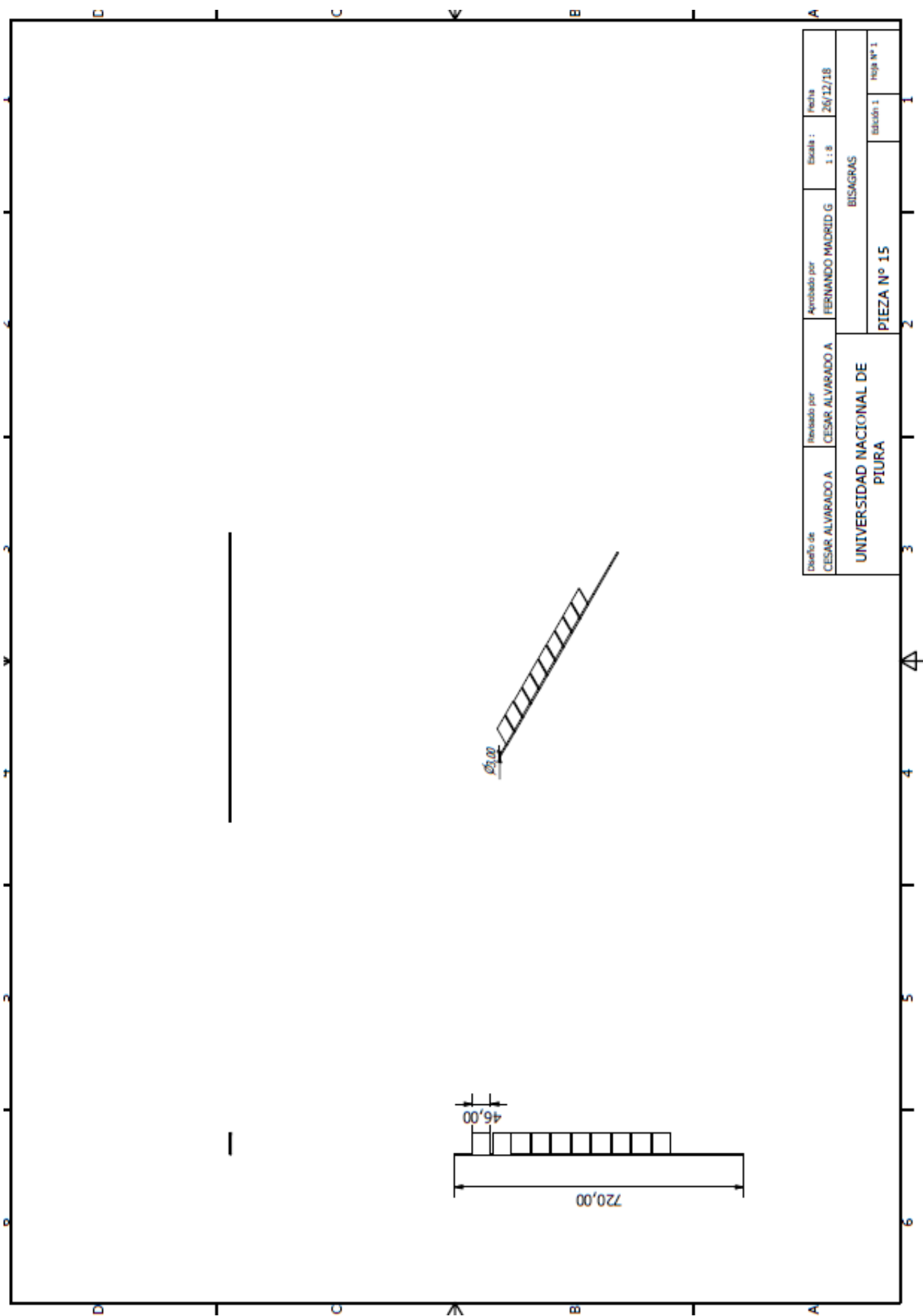


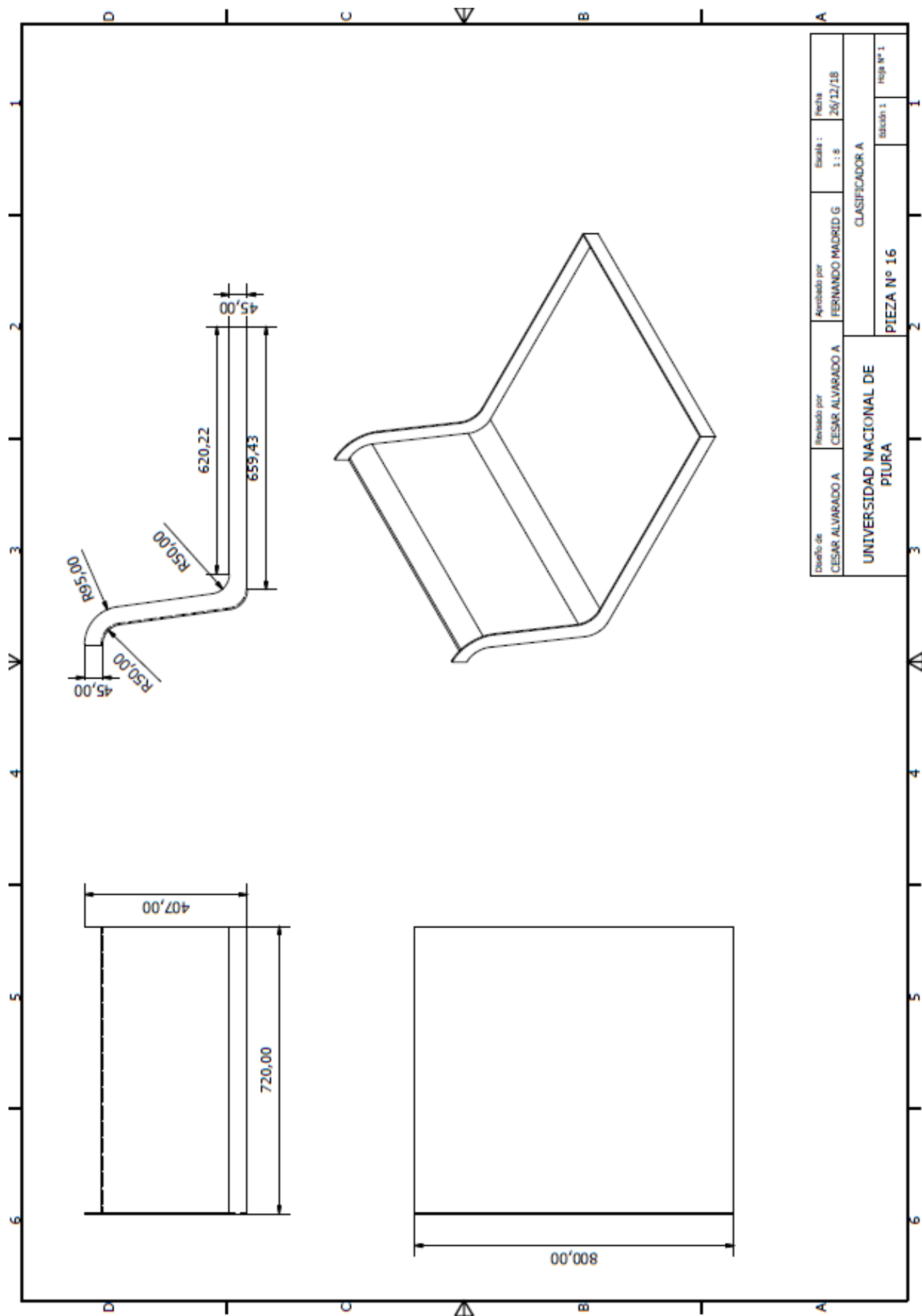
Diseño de CESAR ALVARADO A	Revisado por CESAR ALVARADO A	Aprobado por FERNANDO MADRID G	Escala : 1 : 4	Fecha 26/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA		CADENA N° 2		
		PIEZA N° 10		
		Edición 1		
		Hoja N° 1		



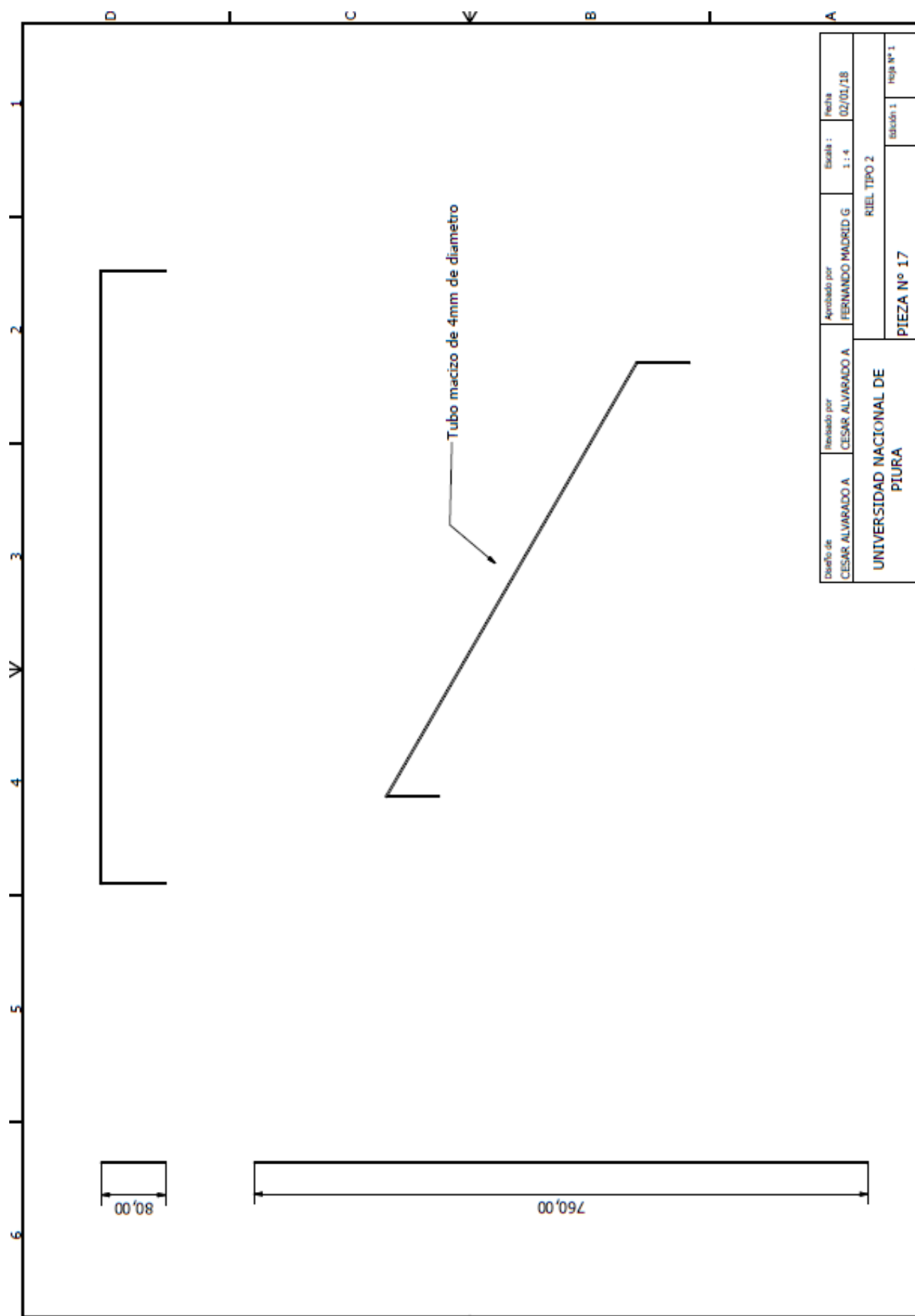
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Escala :	Fecha
CESAR ALVARADO A	CESAR ALVARADO A	FERNANDO MADRID G	1 : 8	26/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA		SOPORTE CENTRAL		
		PIEZA Nº 13	Edición 1	Hoja Nº 1

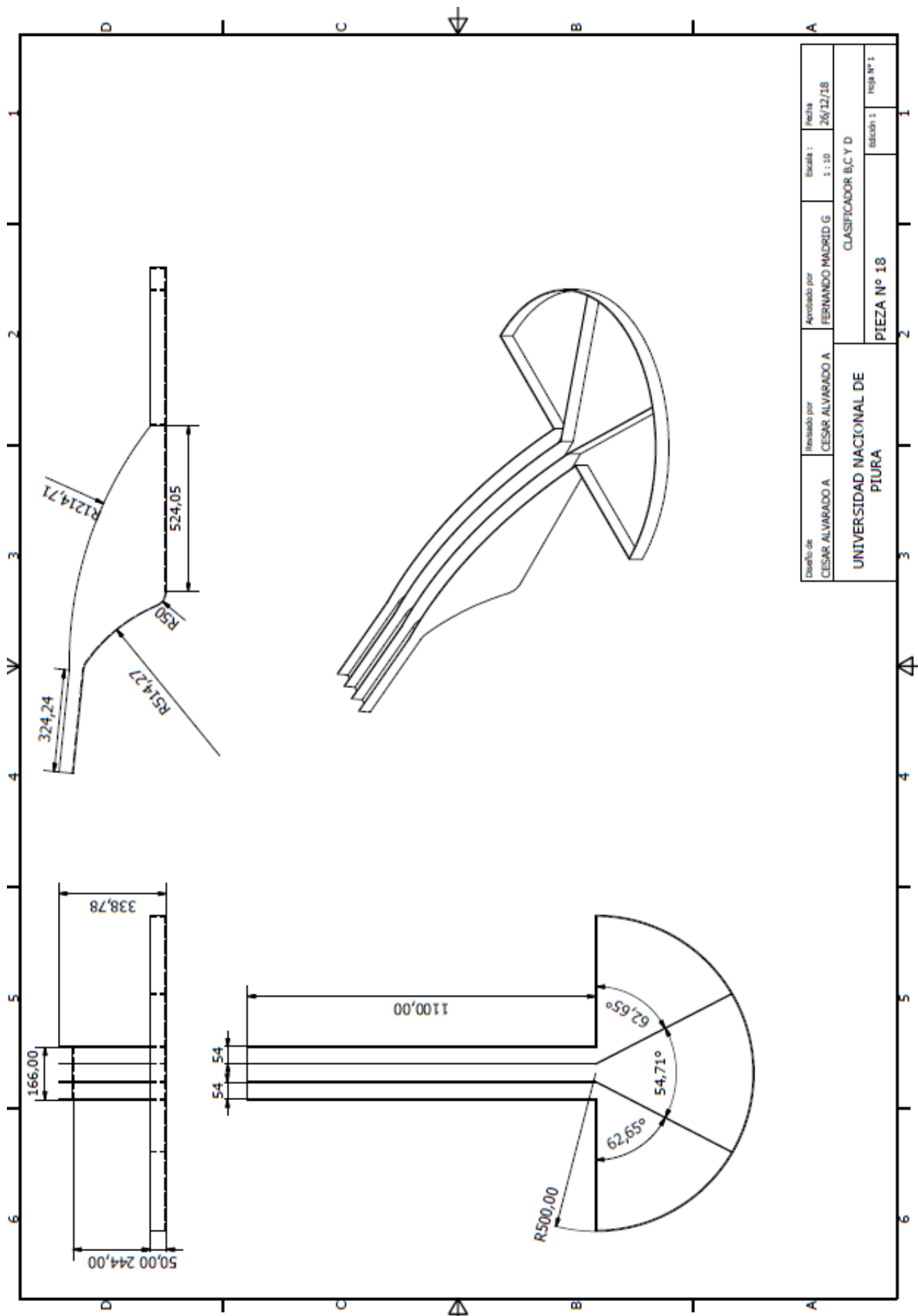






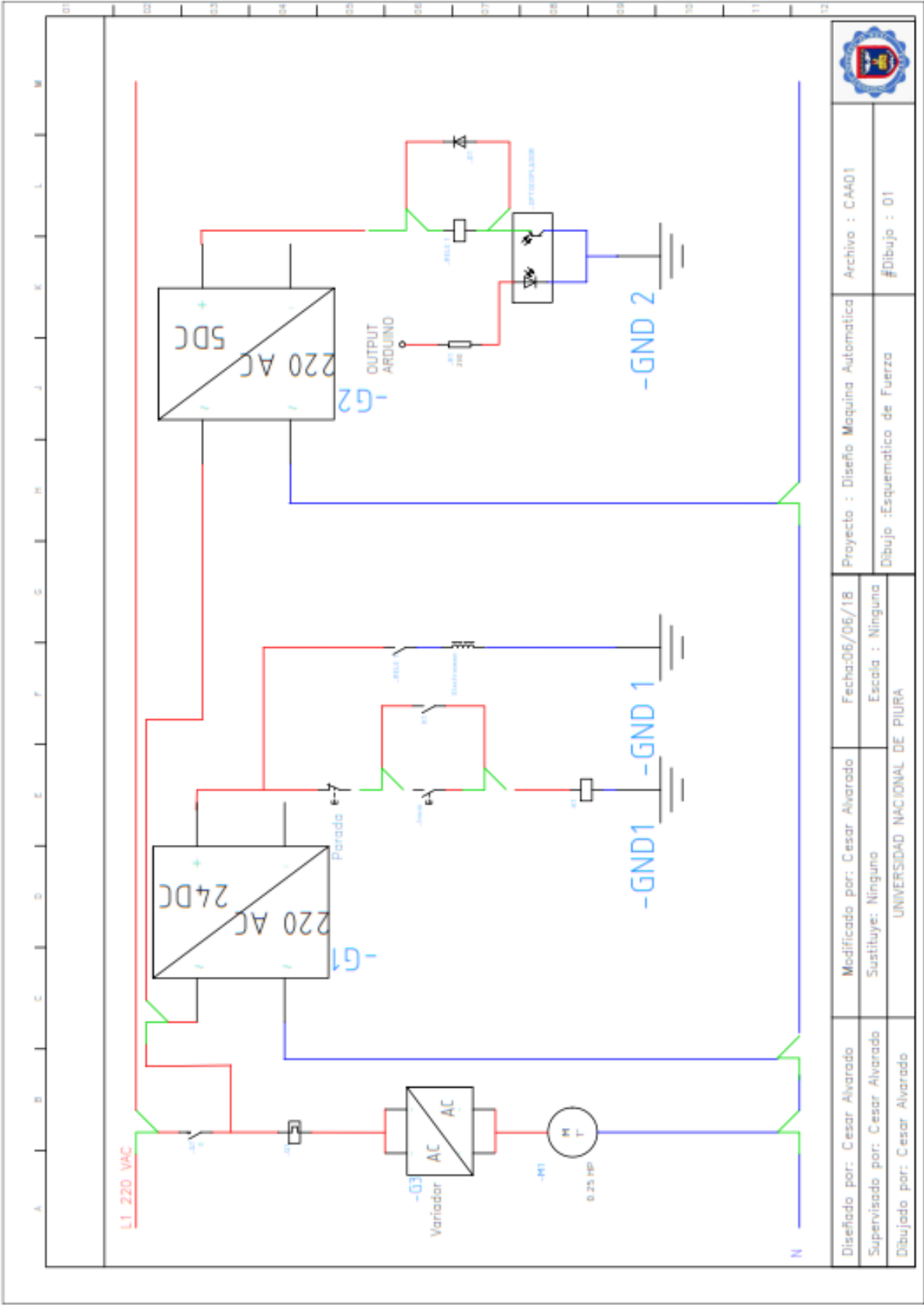
Diseño de CESAR ALVARADO A	Revisado por CESAR ALVARADO A	Aprobado por FERNANDO MADRID G	Escala : 1 : 8	Fecha 26/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA				Hoja N° 1
CLASIFICADOR A				Edición 1
PIEZA N° 16				

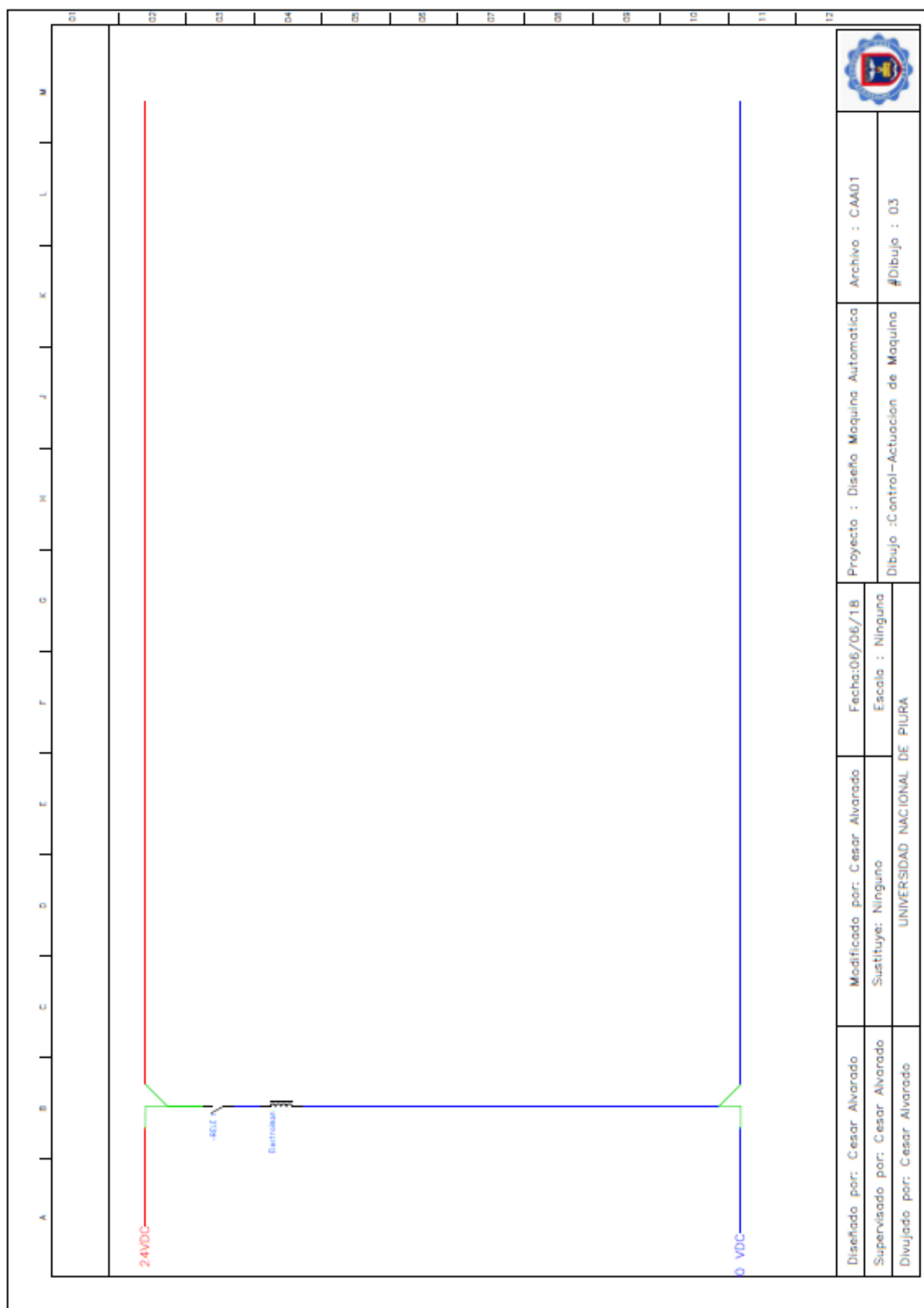




Diseño de CESAR ALVARADO A	Revisado por CESAR ALVARADO A	Aprobado por FERNANDO MADRID G	Escala : 1 : 10	Fecha 26/12/18
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA			CLASIFICADOR B,C Y D	
			PIEZA N° 18	
			Edición 1	
			Hoja N° 1	

ANEXO 2: PLANOS DEL DISEÑO ELECTRICO-ELECTRÓNICO





Archivo : CAA01

#Dibujo : 03

Proyecto : Diseño Maquina Automatica

Dibujo :Control-Actuacion de Maquina

Fecha:06/06/18

Escala : Ninguna

Modificado por: Cesar Alvarado

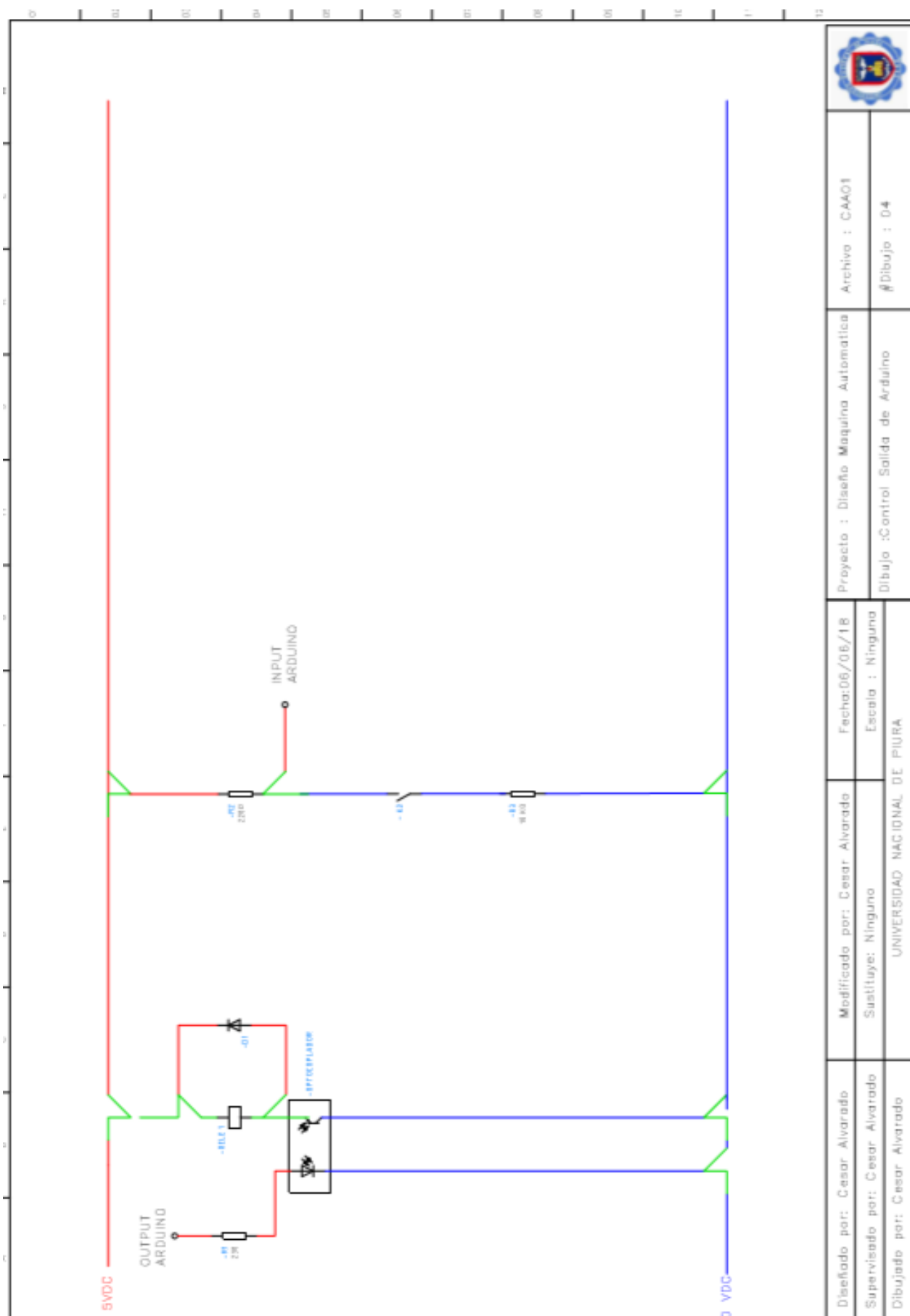
Sustituye: Ninguno

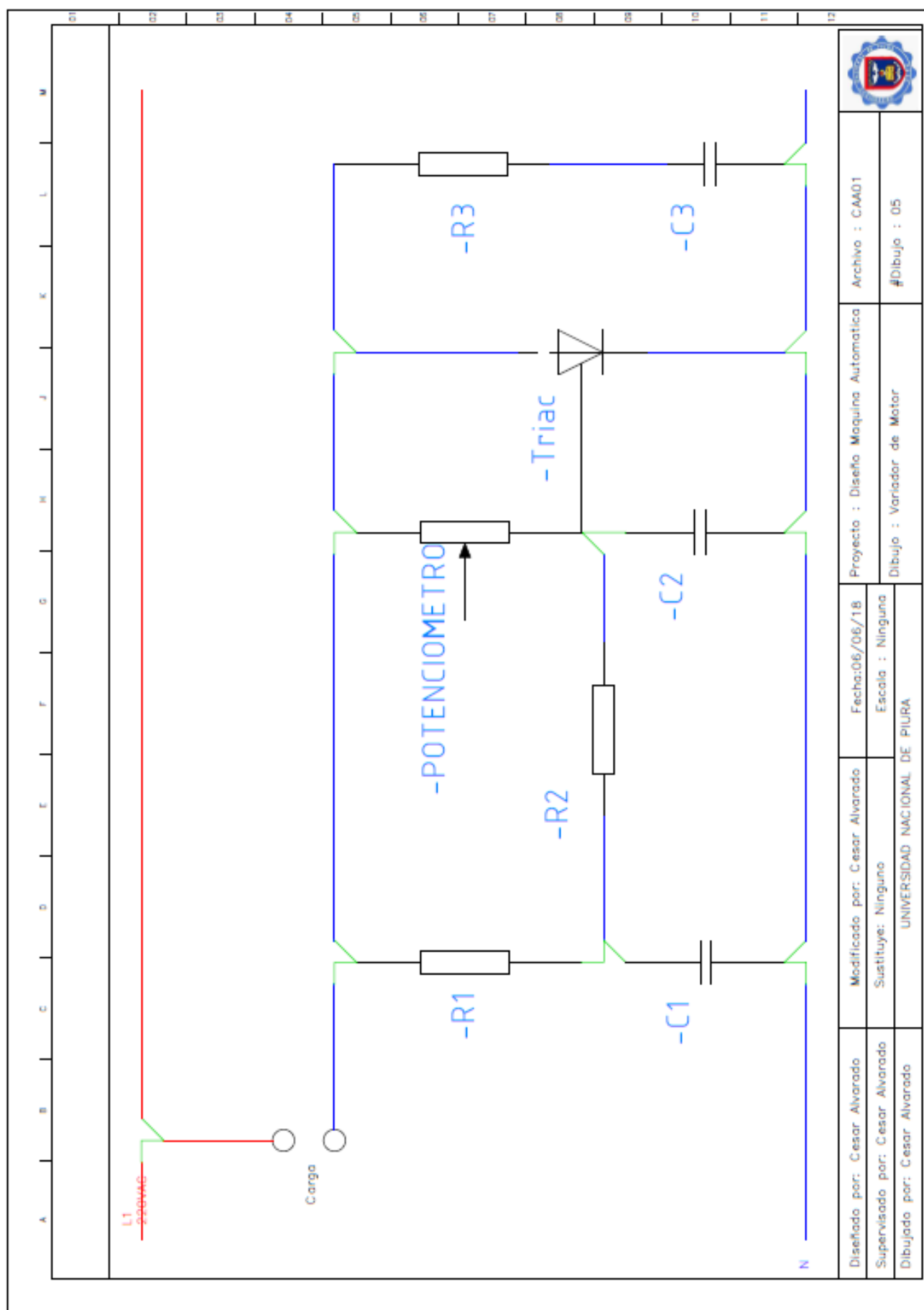
Diseñado por: Cesar Alvarado

Supervisado por: Cesar Alvarado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

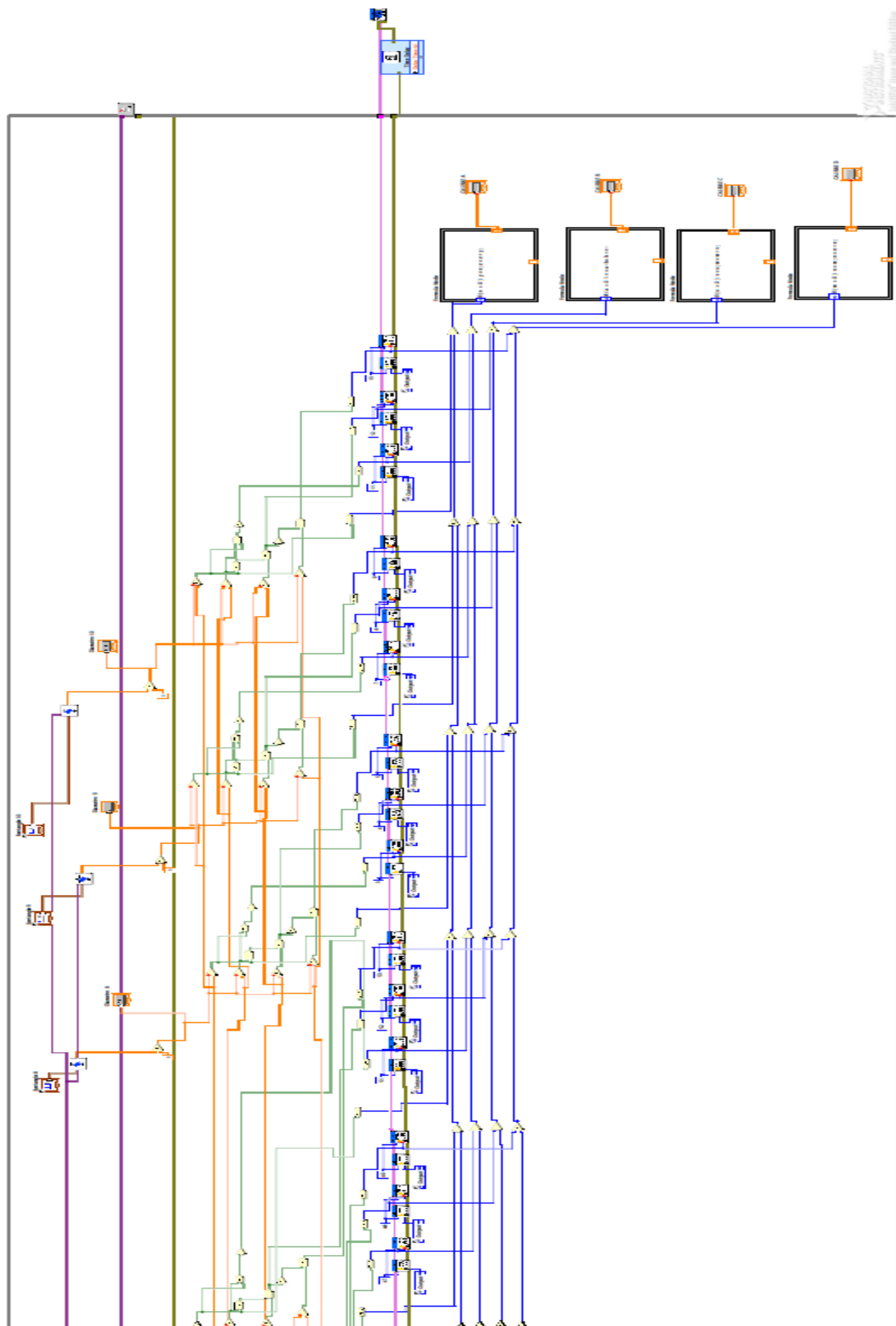
Divujado por: Cesar Alvarado





ANEXO 3: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ALGORITMO DE CONTROL





ANEXO 4: PANEL DEL ALGORITMO DE CONTROL

Rectángulo 1

Left

Top

Bottom

Right

Rotation (degrees)

0.00

Rectángulo 2

Left

Top

Bottom

Right

Rotation (degrees)

0.00

Rectángulo 3

Left

Top

Bottom

Right

Rotation (degrees)

0.00

Rectángulo 4

Left

Top

Bottom

Right

Rotation (degrees)

0.00

Rectángulo 5

Left

Top

Bottom

Right

Rotation (degrees)

0.00

Rectángulo 6

Left

Top

Bottom

Right

Rotation (degrees)

0.00

Rectángulo 7

Left

Top

Bottom

Right

Rotation (degrees)

0.00

Rectángulo 8

Left

Top

Bottom

Right

Rotation (degrees)

0.00

Rectángulo 9

Left

Top

Bottom

Right

Rotation (degrees)

0.00

Rectángulo 10

Left

Top

Bottom

Right

Rotation (degrees)

0.00

Image

STOP

Screen

DIAMETROS

Diametro 1

0.00

Diametro 2

0.00

Diametro 3

0.00

Diametro 4

0.00

Diametro 5

0.00

Diametro 6

0.00

Diametro 7

0.00

Diametro 8

0.00

Diametro 9

0.00

Diametro 10

0.00

CALIBRE A

0.00

CALIBRE B

0.00

CALIBRE C

0.00

CALIBRE D

0.00

NATIONAL INSTRUMENTS

LabVIEW Home and Student Edition

ANEXO 5: HOJA DE CATÁLOGO MARTÍN

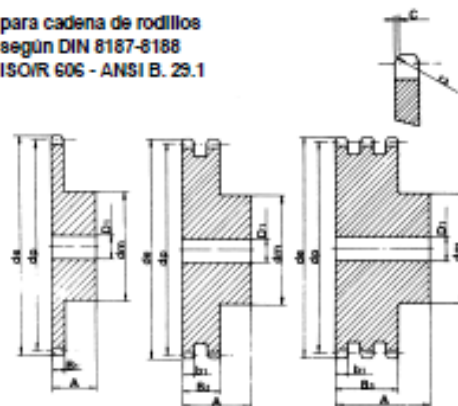
PIÑONES DENTADOS 10B

Calidad, dimensiones y acabados según normas DIN-ASA-ANSI

Z	d_g	d_p	SIMPLE			DOBLE			TRIPLE		
			d_m	D_1	A	d_m	D_1	A	d_m	D_1	A
8	47,0	41,48	25	10	25						
9	52,6	46,42	30	10	25						
10	57,5	51,37	35	10	25						
11	63,0	56,34	37	12	30	37	14	40	37	16	55
12	68,0	61,34	42	12	30	44	14	40	43	16	55
13	73,0	66,32	47	12	30	49	14	40	48	16	55
14	78,0	71,34	52	12	30	53	14	40	53	16	55
15	83,0	76,36	57	12	30	59	14	40	58	16	55
16	88,0	81,37	60	14	30	63	16	45	63	16	60
17	93,0	86,39	60	14	30	69	16	45	68	16	60
18	98,3	91,42	70	14	30	73	16	45	73	16	60
19	103,3	96,45	70	14	30	79	16	45	79	16	60
20	108,4	101,49	75	14	30	84	16	45	84	16	60
21	113,4	106,52	75	16	30	85	16	45	85	20	60
22	118,0	111,55	80	16	30	90	16	45	90	20	60
23	123,4	116,58	80	16	30	95	16	45	95	20	60
24	128,3	121,62	80	16	30	100	16	45	100	20	60
25	134,0	126,66	80	16	30	105	16	45	105	20	60
26	139,0	131,70	85	20	35	110	20	45	110	20	60
27	144,0	136,75	85	20	35	110	20	45	110	20	60
28	148,7	141,78	90	20	35	115	20	45	115	20	60
29	153,8	146,83	90	20	35	115	20	45	115	20	60
30	158,8	151,87	90	20	35	120	20	45	120	20	60
31	163,9	156,92	95	20	35						
32	168,9	161,95	95	20	35	120	20	45	120	20	60
33	174,5	167,00	95	20	35						
34	179,0	172,05	95	20	35						
35	184,1	177,10	95	20	35	120	20	45	120	20	60
36	189,1	182,15	100	20	35	120	20	45	120	25	60
37	194,2	187,20	100	20	35						
38	199,2	192,24	80	20	40	120	20	45	120	25	60
39	204,2	197,29	100	20	35						
40	209,3	202,34	100	20	35	120	30	45			

Piñón 5/8" x 3/8"

para cadena de rodillos
según DIN 8187-8188
ISO/R 606 - ANSI B. 29.1



PIÑÓN	ISO mm	ASA-50 mm
Radio diente r_3	16	17
Ancho radio C	1,6	2
Ancho radio piñón B_1	9,1	8,7
Ancho radio piñón b_1	9	8,4
Ancho radio piñón B_2	25,5	26,5
Ancho radio piñón B_3	42,1	44,6
CADENA	mm	mm
Paso	15,875	15,875
Ancho interior	9,65	9,52
Ø Rodillo	10,16	10,16

ANEXO 6: HOJA DE CATALOGO SKF

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	—
12	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43 000	0,0063	61801
	24	6	2,91	1,46	0,062	67 000	40 000	0,011	61901
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38 000	0,021	* 6001
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,026	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	* 6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,06	* 6301
15	24	5	1,9	1,1	0,048	60 000	38 000	0,0065	61802
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	61902
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* 16002
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* 6002
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	* 6202
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	* 6302
17	26	5	2,03	1,27	0,054	56 000	34 000	0,0075	61803
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,016	61903
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 16003
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 6003
	40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24 000	0,065	* 6203
	40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24 000	0,064	6203 ETN9
	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22 000	0,11	* 6303
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18 000	0,27	6403
	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	61804
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,037	61904
20	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,05	* 16004
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,067	* 6004
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	* 6204
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,098	6204 ETN9
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	* 6304
	52	15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	6304 ETN9
	72	19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,41	6404
	50	14	14	7,65	0,325	30 000	19 000	0,13	62/22
22	56	16	18,6	9,3	0,39	28 000	18 000	0,18	63/22

* Rodamiento SKF Explorer